



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/).

Vea una copia de esta licencia en

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN -TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**ESTUDIO DE LOS AGREGADOS DEL RÍO CUMBAZA PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE CAPAS DE SUB BASE DE PAVIMENTOS
FLEXIBLES EN LA CUIDAD DE TARAPOTO**

Tesis para optar el título profesional de
INGENIERO CIVIL

AUTOR:
Bach. Fernando Ketin Pinedo Moreno

ASESOR:
Ing. Máximo Alcibiades Vilca Cotrina

Tarapoto - Perú
2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN -TARAPOTO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



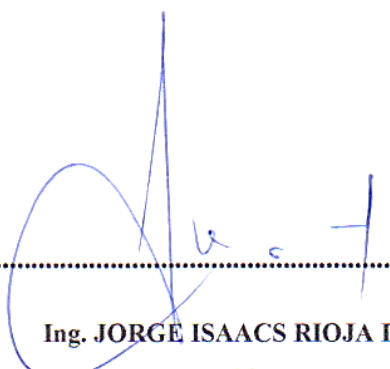
**ESTUDIO DE LOS AGREGADOS DEL RÍO CUMBAZA PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE CAPAS DE SUB BASE DE PAVIMENTOS
FLEXIBLES EN LA CUIDAD DE TARAPOTO**

**Tesis para optar el título profesional de
INGENIERO CIVIL**

AUTOR:


Bach. Fernando Ketin Pinedo Moreno

Sustentado y aprobado ante el honorable jurado el día 06 de setiembre del 2017



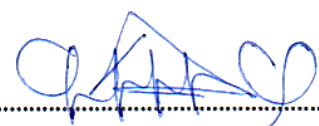
.....

Ing. JORGE ISAACS RIOJA DÍAZ
Presidente




.....

Ing. JUVENAL VICENTE DÍAZ AGIP
Secretario



.....

Ing. M.Sc. RUBÉN DEL ÁGUILA PANDURO
Miembro



.....

Ing. MÁXIMO ALCIBÍADES VILCA COTRINA
Asesor

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

YO, Fernando Ketin Pinedo Moreno egresad@ de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura en la Escuela profesional de Ingeniería Civil ... De la Universidad Nacional de San Martín- Tarapoto, identificado con DNI N° 72416814 con la tesis titulada Estudio de los Agregados del Río Cumbaza Para la Construcción de Capas de Sub Base de Pavimentos Flexibles en la ciudad de Tarapoto.

Declaro bajo juramento que:

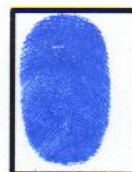
1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas. Por tanto, la tesis no ha sido plagiada ni totalmente ni parcialmente.
3. La tesis no ha sido auto plagiada; es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De considerar que el trabajo cuenta con una falta grave, con el hecho de contar con datos fraudulentos, demostrar indicios y plagio (al no citar la información con sus autores), plagio (al presentar información de otros trabajos como propios), falsificación (al presentar la información e ideas de otras personas de falsa), entre otros, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto.

Tarapoto, 06 de Setiembre del 2017

Fernando Ketin Pinedo Moreno

Nombres y Apellidos
DNI N° 72416814

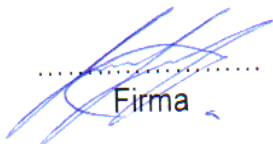


DECLARACIÓN JURADA

Yo, Fernando Ketin Pinedo Moreno
identificado(a) con DNI N° 72416814, domicilio legal
Jr. Jorge Chavez 859 - Tarapoto, a efecto de cumplir con las
Disposiciones Vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la
Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San
Martín – Tarapoto, **DECLARO BAJO JURAMENTO**, que todos los documentos,
datos e información de la presente tesis y/o Informe de Ingeniería, son auténticos
y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad,
ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada,
por lo cual me someto a lo dispuesto en las Normas Académicas de la
Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto.

Tarapoto, 06 de Setiembre del 2017


Firma


Huella Digital

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis.

1. Datos del autor:

Apellidos y nombres: <u>Pinedo Moreno Fernando Ketin</u>	
Código de alumno : <u>103126</u>	Teléfono: <u>945051373</u>
Correo electrónico : <u>fernandoKetin@gmail.com</u>	DNI: <u>72416814</u>

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. Datos Académicos

Facultad de: <u>Ingeniería Civil y Arquitectura</u>
Escuela Profesional de: <u>Ingeniería Civil</u>

3. Tipo de trabajo de investigación

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/> Trabajo de investigación	<input type="checkbox"/>
Trabajo de suficiencia profesional	<input type="checkbox"/>	

4. Datos del Trabajo de investigación

Título: <u>ESTUDIO DE LOS AGREGADOS DEL RIO CUMBAZA PARA LA CONSTRUCCION DE CAPAS DE SUB BASE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LA CIUDAD DE TARAPOTO.</u>
Año de publicación: <u>2017</u>

5. Tipo de Acceso al documento

Acceso público *	<input checked="" type="checkbox"/> Embargo	<input type="checkbox"/>
Acceso restringido **	<input type="checkbox"/>	

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. Originalidad del archivo digital.

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **“Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA”.**

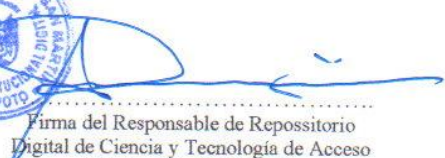

Firma del Autor

8. Para ser llenado en la Oficina de Repositorio Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso Abierto de la UNSM – T.

Fecha de recepción del documento:

13 / 07 / 2018




Firma del Responsable de Repositorio
Digital de Ciencia y Tecnología de Acceso
Abierto de la UNSM – T.

***Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**** Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

DEDICATORIA

Mi tesis la dedico con mucho amor y cariño a **ti Dios** que me diste la oportunidad de vivir y de regalarme una familia maravillosa.

Con mucho entusiasmo a mis padres: **Pedro Pinedo Saavedra y Keila Moreno Pinchi**, que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo papá y mamá por creer en mí y por darme una carrera para mi futuro, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo su amor, por todo esto les agradezco de todo corazón el que estén conmigo vivos en este momento muy importante en esta etapa de mi vida.

Los quiero con todo mi corazón y esta investigación que me llevo 11 meses en hacerlo es para ustedes, por ser un hijo que a pesar de las adversidades vieron de mí el ímpetu de querer llevar a cabo esta tesis, nunca dudaron de mí y gracias por su confianza, aquí esta lo que ustedes me brindaron, solamente estoy devolviendo lo que ustedes me dieron en un principio.

Fernando Ketin

AGRADECIMIENTO

Realmente resulta un poco difícil escribir un agradecimiento considerando que han sido tantas las personas que de alguna u otra forma han contribuido en alguna etapa del desarrollo de la presente tesis.

Queremos agradecer primero a **Dios** porque nos dio el don de la perseverancia para alcanzar nuestras metas.

Agradecer a **mis padres** por el apoyo incondicional y económico para llegar a concluir con esta Tesis.

A la **UNIVERSIAD NACIONAL DE SAN MARTIN** que nos abrió sus puertas para ser mejores personas y buenos profesionales, así como también a los docentes de la E.A.P. de Ingeniería Civil por brindarme sus enseñanzas.

Me gustaría agradecer **Ing. Máximo Alcibíades Vilca Cotrina**, mi asesor de tesis, por su esfuerzo y dedicación; sus conocimientos, su manera de trabajar, su persistencia, su paciencia y su motivación han sido fundamentales para mi formación como investigador; para poder desarrollar la presente investigación.

Al Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNSM, por su apoyo en los trabajos de campo y ensayos de laboratorio que nada esto se hubiera llevado a cabo sin la orientación del Técnico Certificado en Suelos **Lic. Robert Navarro Morí** por la paciencia y la dedicación para orientarme a obtener resultados.

Fernando Ketin

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
INDICE.....	viii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I INTRODUCCION.....	1
1.1 Antecedentes del Problema.....	1
1.2 Definición del Problema.....	2
1.3 Formulación del Problema.....	2
1.4 Justificación e Importancia.....	2
1.4.1 Justificación.....	2
1.4.2 Importancia.....	3
1.5 Alcances y Limitaciones.....	3
CAPITULO II MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	4
2.2 Definición de Términos.....	9
2.3 Bases Teóricas.....	15
2.3.1 Canteras.....	15
2.3.1.1 Clasificación de Canteras.....	17
2.3.1.2 Clases de Canteras.....	18
2.3.1.3 Productos de la explotación de una cantera y sus usos más frecuentes.....	19
2.3.1.4 Materiales de construcción y su entorno geológico.....	21
2.3.1.5 Geología.....	21
2.3.1.6 Métodos de Explotación.....	21
2.3.1.7 Exploración de Suelos y Rocas.....	22
2.3.1.8 Estudio de Cantera de Suelo.....	23
2.3.1.8.1 Ubicación.....	24
2.3.1.8.2 Descripción.....	24

2.3.1.8.3	Muestreo.....	24
2.3.1.9	Explotación de Canteras.....	25
2.3.1.9.1	Potencia y Rendimiento.....	26
2.3.1.9.2	Delimitación de la zona de Explotación.....	26
2.3.1.9.3	Análisis de Perfiles Estratigráficos.....	27
2.3.1.9.4	Cálculo de Rendimiento.....	28
2.3.1.9.5	Informe, Diagrama de Cantera, Fuentes de Agua e Instalaciones de Suministro.....	28
2.3.2	Hidráulica Fluvial.....	29
2.3.2.1	Granulometría.....	29
2.3.2.2	Umbral o principio del movimiento.....	32
2.3.2.3	Acorazamiento.....	34
2.3.2.4	Clasificación del transporte de sedimentos.....	36
2.3.2.5	Técnicas de muestreo y medidas.....	38
2.3.3	Agregados.....	40
2.3.3.1	Clasificación.....	41
2.3.3.1.1	Por su Naturaleza.....	41
2.3.3.1.2	Por su Peso Específico y Absorción.....	41
2.3.3.1.3	Por su Densidad.....	43
2.3.3.1.4	Por el Origen, Forma y Textura Superficial.....	43
2.3.3.1.5	Por el Tamaño del Agregado.....	44
2.3.3.2	Funciones del Agregado.....	44
2.3.3.3	Proceso de Producción del Agregado.....	45
2.3.3.4	Propiedades del Agregado.....	46
2.3.3.4.1	Propiedades Físicas.....	46
2.3.3.4.2	Propiedades Resistentes.....	48
2.3.3.4.3	Propiedades Térmicas.....	49
2.3.3.4.4	Propiedades Químicas.....	50
2.3.3.5	Criterios a tener en cuenta.....	50
2.3.3.5.1	Canteras.....	50
2.3.3.5.2	Especificaciones para la compra.....	51
2.3.3.5.3	Especificaciones Técnicas de los Agregados.....	52
2.3.3.5.4	Transporte.....	53

2.3.3.5.5	Contaminación.....	54
2.3.3.5.6	Almacenamiento en Obra.....	54
2.3.3.5.7	Ensayos de los Materiales.....	54
2.3.3.6	La Forma de los Agregados.....	55
2.3.3.7	El Muestreo de los Agregados.....	56
2.3.3.7.1	Propósito del muestreo.....	57
2.3.3.7.2	Tipo de Muestra.....	58
2.3.3.7.3	Materiales para Pavimentos.....	59
2.3.3.7.4	Muestreo de Suelos y Rocas.....	59
2.3.3.7.5	Muestra.....	60
2.3.3.7.6	Clasificación del Material.....	60
2.3.3.8	Sub Bases Granulares.....	62
2.3.3.8.1	Materiales.....	62
2.3.3.8.2	Aceptación de los Trabajos.....	64
2.3.4	Módulo de Resiliente.....	65
2.3.4.1	Metodología Empírica.....	66
2.3.4.2	Determinación del Módulo Resiliente de acuerdo a AASHTO 93.....	66
2.3.4.2.1	Alcances.....	66
2.4	Hipótesis.....	67
2.5	Sistema de Variables.....	68
2.6	Objetivos.....	68
2.6.1	Objetivo General.....	68
2.6.2	Objetivo Especifico.....	68

CAPITULO III MATERIALES Y MÉTODOS.....69

3.1	Población y Muestra.....	69
3.1.1	Población.....	69
3.1.2	Muestra.....	69
3.2	Ámbito Geográfico.....	70
3.3	Ubicación Geográfica.....	70
3.4	Altitud con Respecto al Mar.....	70
3.5	Diseño de la Investigación.....	70
3.6	Procedimiento y Técnicas.....	71

3.6.1	Procedimientos.....	71
3.6.2	Técnicas.....	73
3.7	Instrumentos.....	73
3.7.1	Instrumentos de recolección de datos.....	73
3.7.2	Instrumentos de procesamiento de datos.....	73
3.8	Prueba de Hipótesis.....	75

CAPÍTULO IV RESULTADOS.....76

4.1	Determinación, Descripción y Características de las Canteras en Estudio.....	76
4.1.1	Cantera Juan Guerra.....	77
4.1.1.1	Resultados de Ensayos de Laboratorio – Muestra 01.....	78
4.1.1.2	Resultados de Ensayos de Laboratorio – Muestra 02.....	79
4.1.1.3	Resultados de Ensayos de Laboratorio – Muestra 03.....	80
4.1.2	Cantera Tres de Octubre.....	81
4.1.2.1	Resultados de Ensayos de Laboratorio – Muestra 01.....	82
4.1.2.2	Resultados de Ensayos de Laboratorio – Muestra 02.....	83
4.1.2.3	Resultados de Ensayos de Laboratorio – Muestra 03.....	84
4.1.3	Cantera Santa Rosa de Cumbaza.....	85
4.1.3.1	Resultados de Ensayos de Laboratorio – Muestra 01.....	86
4.1.3.2	Resultados de Ensayos de Laboratorio – Muestra 02.....	87
4.1.3.3	Resultados de Ensayos de Laboratorio – Muestra 03.....	88
4.2	Clasificación de las Canteras en Estudio para su uso en Sub Base.....	89
4.2.1	Requisitos Granulométricos y Ensayos Especiales: Cantera Juan Guerra.....	89
4.2.2	Requisitos Granulométricos y Ensayos Especiales: Cantera Tres de Octubre.....	90
4.2.3	Requisitos Granulométricos y Ensayos Especiales: Cantera Santa Rosa de Cumbaza.....	92
4.3	Determinación de Modulo Resiliente.....	95
4.3.1	Módulo Resiliente: Cantera Juan Guerra.....	95
4.3.2	Módulo Resiliente: Cantera Tres de Octubre.....	95
4.3.3	Módulo Resiliente: Cantera Santa Rosa de Cumbaza.....	95

CAPÍTULO V	ANÁLISIS DE DISCUSION DE RESULTADOS	96
5.1	Análisis Granulométrico	96
5.2	Abrasión de los Ángeles	96
5.3	Valor Relativo Soporte (CBR)	96
5.4	Limite Líquido	96
5.5	Índice de Plasticidad	97
5.6	Equivalente de Arena	97
5.7	Sales Solubles	97
5.8	Partículas Chatas y Alargadas	97
CAPÍTULO VI	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	98
6.1	Conclusiones	98
6.2	Recomendaciones	98
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	99
	ANEXOS	103
Anexo 1	: Panel Fotográfico	104
Anexo 2	: Ensayos de Laboratorio	118
Anexo 2.1	: Ensayos Cantera Juan Guerra	120
	Resumen de los Resultados de la Sub Base	121
Anexo 2.1.1	: Muestra 01	123
Anexo 2.1.2	: Muestra 02	152
Anexo 2.1.3	: Muestra 03	181
Anexo 2.2	: Ensayos Cantera Tres de Octubre	210
	Resumen de los Resultados de la Sub Base	211
Anexo 2.2.1	: Muestra 01	213
Anexo 2.2.2	: Muestra 02	242
Anexo 2.2.3	: Muestra 03	271
Anexo 2.3	: Ensayos Cantera Santa Rosa de Cumbaza	300
	Resumen de los Resultados de la Sub Base	301
Anexo 2.3.1	: Muestra 01	303

Anexo 2.3.2	: Muestra 02.....	332
Anexo 2.3.3	: Muestra 03.....	361
Anexo 3	: Planos.....	390
Anexo 3.1	: Plano Ubicación Cantera Juan Guerra.....	391
Anexo 3.2	: Plano Ubicación Cantera Tres de Octubre.....	393
Anexo 3.3	: Plano Ubicación Cantera Santa Rosa de Cumbaza.....	395

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Ensayos de calidad de agregados	1
Tabla 2	Tipos de Canteras.....	18
Tabla 3	Productos de la explotación de canteras.....	20
Tabla 4	Valores de módulos elásticos.....	49
Tabla 5	Valor Relativo de Soporte, CBR en Sub Base Granula.....	60
Tabla 6	Requisitos Granulométricos para Sub Base Granular.....	64
Tabla 7	Requerimientos de Ensayos Especiales para Sub Base Granular.....	64
Tabla 8	Ensayos y Frecuencias.....	65
Tabla 9	Procesamiento de datos.....	70
Tabla 10	Requisito granulométrico: cantera Juan Guerra.....	89
Tabla 11	Ensayos especiales: cantera Juan Guerra.....	89
Tabla 12	Requisito granulométrico: cantera Tres de Octubre.....	90
Tabla 13	Ensayos especiales: cantera tres de octubre.....	91
Tabla 14	Requisito granulométrico: cantera Santa Rosa de Cumbaza.....	92
Tabla 15	Ensayos especiales: cantera Tres de Octubre.....	92
Tabla 16	Resumen de Resultado.....	94

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Levantamiento topográfico de la zona.....	26
Figura 2 : Calicatas de Sondeo.....	27
Figura 3 : Perfil estratigráfico del eje B.....	27
Figura 4 : Ejes imaginarios de una partícula.....	30
Figura 5 : Distribución concreta o continua de los tamaños (izquierda) y curva granulométrica (acumulada) continua (derecha).....	31
Figura 6 : Ábaco de Shields.....	33
Figura 7 : Movimiento turbulento liso (izquierda) y rugoso (derecha).....	34
Figura 8 : Acorazamiento observado (a), acorazamiento estático (b) y acorazamiento dinámico (c).....	35
Figura 9 : Clasificación del transporte de sedimentos.....	37
Figura 10: Comparación intuitiva entre muestra superficial y volumétrica.....	39
Figura 11: Forma de los Agregados.....	55
Figura 12: Espesor de Agregados.....	57
Figura 13: Muestreo de los Agregados.....	59
Figura 14: Diseño de la investigación.....	70
Figura 15: Vista panorámica de localización de las 05 canteras.....	71
Figura 16: Vista panorámica de localización de las 03 canteras seleccionadas.....	71

RESUMEN

El presente trabajo de tesis se ha desarrollado con el objeto de realizar el estudio de los agregados del río Cumbaza, para determinar si estos son aptos para la construcción de capas de sub base de pavimentos flexibles en la ciudad de Tarapoto, provincia y Región San Martín. Cabe indicar que en el presente trabajo se extrajeron muestras de tres canteras que fueron; cantera Juan Guerra, cantera Tres de Octubre y cantera Santa Rosa de Cumbaza y de cada cantera se hicieron tres ensayos. Habiéndose participado en la producción de nuevo conocimiento con fines positivos de la comunidad y la ciencia.

La metodología seguida nos permitió aplicar los conceptos fundamentales requeridos en el Área de Mecánica de Suelos, en base a lo que establece el Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG 2013 del MTC y utilizando los equipos especiales y accesorios del Laboratorio Referencial de nuestra Universidad, se realizó la granulometría de los agregados, así como ensayos especiales como Abrasión de los Ángeles, CBR, Límite Líquido, Índice de Plasticidad, Equivalente de Arena, Sales Solubles y Partículas Chatas y Alargadas, realizándose luego una comparación con los requisitos que deben cumplir los agregados para ser utilizados como sub base de pavimento flexible.

Los resultados obtenidos evidencian a todas luces que no es posible la utilización de los agregados del río Cumbaza como capas de sub base de pavimento flexible, luego de haber realizado el estudio y análisis de estos a través de ensayos de laboratorio de la mecánica de suelos.

Como conclusiones se tiene que se determinó que los agregados del río Cumbaza provenientes de las canteras Juan Guerra, Tres de Octubre y Santa Rosa de Cumbaza no son aptos para ser usados como sub base del pavimento flexible en la ciudad de Tarapoto, ya que presentan un alto desgaste a la abrasión lo que contribuye en un porcentaje definir usarlo al momento del proceso constructivo.

Palabras claves: Estudio, agregados, construcción, sub base, pavimento flexible.

ABSTRACT

The following thesis work has been developed with the purpose of carrying out the study of the aggregates of the Cumbaza River, to determine if these are suitable for the construction of layers of sub base of flexible pavements in the city of Tarapoto, province and San Martin Region. It should be noted that in the present work samples were taken from three quarries that were; Juan Guerra quarry, Tres de Octubre district quarry and Santa Rosa de Cumbaza quarry and three quarries were made. Having participated in the production of new knowledge for positive community and science purposes.

Methodology followed allowed us to apply the fundamental concepts required in the area of soil mechanics, based on what is established in the road manual - general technical specifications for construction - EG 2013 of the MTC and using the special equipment and accessories of the Reference Laboratory from Our University, the granulometry of the aggregates was made, as well as special tests such as Abrasion of the Angels, CBR, liquid limit, plasticity index, sand equivalent, soluble salts and flat and elongated particles, making a comparison with the requirements that must meet the aggregates to be used as a flexible pavement sub base.

The results obtained show clearly that it is not possible to use the aggregates of Cumbaza River as layers of flexible pavement sub base, after having made the study and analysis of these through laboratory tests of soil mechanics.

As conclusions, it has been determined that the aggregates of Cumbaza river from the Juan Guerra, Tres de Octubre and Santa Rosa de Cumbaza quarries are not suitable for use as a subbase of the flexible pavement in the city of Tarapoto, since they present a high wear to abrasion which contributes in a certain percentage to use it at the time of the construction process.

Keywords: Study, aggregates, construction, sub base, flexible pavement.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Antecedentes del problema

Minaya, S., & Ordoñez, A. (2001) *Ensayo de Agregados para Pavimentos*. En manual de laboratorio ensayo para pavimentos volumen I (p.6). Lima: UNI. La calidad de los agregados es de suma importancia, ya que estas corresponden alrededor del 90% del volumen del pavimento flexible. El agregado no solo puede limitar la resistencia del pavimento, sino que sus propiedades pueden afectar enormemente su durabilidad y desempeño.

La influencia de los agregados en las propiedades del pavimento flexible no solo tiene efecto en la calidad, sino también en la trabajabilidad y consistencia al estado plástico, así como sobre la durabilidad, resistencia, propiedades elásticas y cambios volumétricos.

A su llegada al laboratorio los agregados, las muestras deben ser separadas para someterlas a diferentes ensayos de calidad de agregados. Dependiendo de la función que van a cumplir como parte de la estructura del pavimento se las prepara para los siguientes ensayos:

Tabla 1

Ensayos de calidad de agregados

ENSAYOS	Sub Base
Análisis Granulométrico por Tamizado	✓
Límites de consistencia	✓
Equivalente de Arena	✓
Abrasión	✓
Proctor modificado	✓
CBR	✓
Porcentaje de caras fracturadas	✓
Porcentaje de partículas chatas y alargadas	✓
Contenido de impurezas orgánicas	✓
Contenido de sales solubles totales	✓

Fuente: Minaya, S., & Ordoñez

1.2 Definición del problema

El análisis de los agregados para la utilización en pavimentos flexibles es de vital importancia al momento de ejecutar un proyecto o al momento de seleccionar una cantera en la ejecución de un proyecto, ya que estas deben cumplir con los requerimientos de las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras EG - 2013 del MTC, no obstante, cuando un proyecto de pavimentación se requiera especificaciones nuevas concordantes en el estudio o que amplíen, complementen o reemplacen a las especificaciones generales, el autor del proyecto o el ingeniero responsable de suelos y pavimentos deberá emitir las especificaciones especiales para ese proyecto y solo será aplicable para su ejecución.

1.3 Formulación del problema

La idea principal radica en estudiar una solución a nivel de la estructura del pavimento para la reducción de costo en la elaboración de proyectos de pavimentación en la ciudad de Tarapoto, teniendo como principal objetivo reducir el costo de transporte de material granular ya que el Río Cumbaza se encuentra en el Distrito de Morales y este colinda con la ciudad de Tarapoto; es por ello que se ve la necesidad de estudiar una posible solución a este problema, planteando utilizar los agregados del Río Cumbaza en la elaboración de capas de Sub Base en pavimentos flexibles en la ciudad de Tarapoto.

¿Se podrá utilizar los agregados del Río Cumbaza para la construcción de capas de sub base de pavimentos flexibles en la ciudad de Tarapoto?

1.4 Justificación e Importancia

1.4.1 Justificación

En la ciudad de Tarapoto actualmente para la construcción de pavimentos flexibles se utilizan agregados que son procedente de canteras de otros ríos, que se encuentran a distancias mayores de canteras que pertenecen al Río Cumbaza, una de las causales para que ya no se toman en cuenta los agregados del Río Cumbaza para la elaboración de los pavimentos flexibles es que este se encuentra contaminada, pero en el presente proyecto estudiaremos las características físico mecánica que deben cumplir los agregados para ser

tomados en cuenta para la construcción de capas de Sub Base de pavimentos flexibles en base al Manual de Carreteras EG – 2013; luego de desarrollarse el proyecto y lograr resultados favorables se estaría demostrando que la utilización de agregados del Rio Cumbaza para la construcción de pavimentos flexibles es factible en la ciudad de Tarapoto.

1.4.2 Importancia

Esta investigación será un aporte a la actividad de la construcción en la ciudad de Tarapoto al momento de elaborarse y ejecutarse proyectos de construcción de pavimentos flexibles, ya que se reducirá los costos de transporte de material de agregados; por cuanto se plantea un análisis aplicado a nuestro medio para el diseño de pavimentos flexibles teniendo en cuenta las características físico mecánicas que deben cumplir los agregados para ser tomados en cuenta en la construcción de capas de Sub Base.

1.5 Alcance y limitaciones

En la investigación tendrá el siguiente alcance y limitaciones:

El estudio se realizará para pavimentos flexibles a usarse en la ciudad de Tarapoto, provincia de San Martin, Región San Martin.

Localización de las zonas de sedimentación de agregados del rio Cumbaza.

Utilización del laboratorio de Mecánica de Suelos de la FICA-UNSM-T.

Delimitación de los pavimentos o usos de los agregados del rio Cumbaza para diseño de Sub Bases de pavimentos flexibles.

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Terzaghi, K., & Peck, R. (1978) *Métodos de Exploración del Suelo*. En Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica Segunda Edición (pp.291-292). Barcelona - España: EL ATENEO S.A. Toda investigación del subsuelo debiera ser procedida de una revisión de la información existente respecto de las condiciones geológicas del terreno o cerca del lugar. En la mayoría de las veces esta información debe ser suplementada con los resultados de investigaciones más directas. Usualmente, el primer paso consiste en ejecutar unos pocos sondeos por un método rápido y obtener muestras suficientes intactas de los suelos que forman cada uno de los estratos encontrados por las herramientas del sondeo. Estos sondeos se conocen como perforaciones exploratorias. Se puede necesitar además un muestreo más refinado, ensayos en el terreno o ambos. Las muestras proporcionan el material para una investigación de las propiedades del suelo por medio de ensayos de laboratorio. Los ensayos en el terreno, como los de penetración, los de corte en el lugar o los de bombeo, proporcionan información directa relativa a detalles del perfil del suelo y a las propiedades del suelo in situ.

Desde hace algunos años ciertos métodos geofísicos de exploración se han adaptado a los propósitos de la ingeniería civil. Utilizando estos métodos, por observaciones efectuadas en la superficie del terreno, es posible obtener datos con respecto a la posición del plano de separación entre el suelo y la roca. Si la roca es sana y su superficie superior no es demasiado irregular, se puede determinar la posición y la topografía de la misma mucho más económica y rápidamente que por medio de perforaciones. Bajo condiciones favorables, los métodos geofísicos han dado buenos resultados para determinar la posición de los límites entre los diferentes estratos de suelos y obtener datos respecto de las propiedades físicas de los mismos. No obstante, en muchos casos, los resultados de tales relevamientos han conducido a conclusiones totalmente erróneas. Por ello, no se debe confiar en los métodos geofísicos a menos que sus resultados se han adecuadamente controlados con perforaciones u otros medios directos de investigación. Los métodos para obtener muestras se adaptan a los requerimientos de la obra. Por otro lado, los procedimientos de perforación para bajar una

saca testigos a la cota de extracción de la muestra y retirarlo del terreno después que el mismo ha penetrado en su masa están determinados en gran parte por la economía y las condiciones del lugar. Como regla, para un procedimiento dado de muestreo, se puede utilizar uno de varios métodos posibles de perforación. Por ello en los apartados que siguen los métodos de perforación y muestreo se describen separadamente.

Panduro, K. (1995) *Estudio de Canteras y su Uso en la Construcción Civil en la Región San Martín*. Morales: Tesis UNSM. En la presente tesis se realizó el estudio de canteras y su uso en la construcción civil en la Región San Martín; la cual se enmarca dentro los requerimientos que se necesita como información técnica, y está dirigida tanto para investigadores, comercializadores, docentes, alumnos y a todos aquellos que de una u otra manera les represente un elemento de apoyo para realizar un trabajo técnico.

La presente tesis tuvo como objetivo obtener y proporcionar información técnica, respeto a las características cuantitativas y cualitativas de los agregados utilizados en la ejecución de obras civiles de los bancos de la región San Martín, planteando alternativas para su correcta utilización.

La tesis se concluyó que los agregados de las canteras del río Cumbaza (03 de Octubre y 10 de Agosto) tienen menor resistencia al desgaste a la de otras canteras en estudio.

También se concluyó que los Agregados del río Cumbaza no son aptos para su utilización en pavimentos.

Grandez, G. (2010) *Diseño Geométrico y Pavimento de la Carretera Tabalosos - Pinto Recodo*. Morales: Tesis UNSM. El presente trabajo se desarrolla como contribución a la sociedad, ya que somos conscientes de la problemática vial de nuestra Región San Martín, y los pueblos que requieren desarrollarse, exigiendo más presencia del estado.

La presente tesis tuvo como uno de sus objetivos específicos realizar el estudio de canteras.

El tipo de pavimento que se definió realizar de acuerdo a los resultados de la investigación es pavimento flexible con base de material granular seleccionados, teniendo en cuenta su bajo costo inicial, la disponibilidad de los agregados y facilidad en el mantenimiento. La tesis tuvo como conclusiones que un diseño de carretera no solo es diseñar las dimensiones de los diferentes componentes geométricos, sino el diseño que involucre el diseño del

pavimento y el diseño del sistema de drenaje; la presente propuesta de diseño para la construcción de la carretera cumple con los principales objetivos de todo proyecto: seguridad económica y estética.

Mosquera, E. (2011) *Evaluación de las Canteras de la provincia de San Martín para su utilización en Obras Civiles*. Morales: Tesis UNSM. El presente estudio, pretende obtener resultados de los ensayos de laboratorio realizados, que permitirán seleccionar, calificar y evaluar las distintas características de los agregados obtenidos de las diferentes canteras de estudio, cuyo uso es de vital importancia en la elaboración de concreto, para su utilización en la construcción en general, específicamente aquellos concretos elaborados en el ámbito de la provincia de San Martín.

La presente tesis especifica la evaluación de las canteras de agregados más explotados en la provincia de San Martín, realizándoles a estos los ensayos de laboratorio detallados en el presente estudio de tesis, y con estos datos obtenidos realizar los respectivos diseños de mezclas de cada cantera en estudio, cabe mencionar que la presente tesis pone en práctica los conocimientos teóricos prácticos obtenidos en nuestra Universidad Nacional de San Martín con fines de estudio para un aporte a la misma.

La tesis tuvo la siguiente conclusión, que la cantera de Juan Guerra es la cantera más representativa del río Cumbaza, ya que sus agregados cuentan con características más adecuadas para su uso en la elaboración de concreto (solo concreto de baja calidad).

Villegas, J., & Salas, J. (2012) *Diseño Geométrico y Pavimento de la Carretera Ledoy - Bellavista*. Morales: Tesis UNSM. El presente trabajo de tesis se desarrolla para un aporte y contribución a la sociedad, conscientes de la problemática vial en nuestra región San Martín, particularmente en el ámbito rural, zonas que por falta de vía con condiciones favorables y en el peor de los casos no cuenta con acceso y vías, siendo esta situación una limitante para el desarrollo socioeconómico de nuestros pueblos.

La presente tesis tuvo como uno de sus objetivos específicos elaborar el diseño de pavimento de la carretera Ledoy – Bellavista.

La tesis se concluyó que para determinar el espesor del pavimento se ha tomado los valores obtenidos por el catálogo de Revestimiento Granular del Manual del Diseño de Caminos no

Pavimentados de Bajo Volumen de Transito ya que se trata de una carretera de Índice de Medio Diario (IMD), menor a 400 vehículos por día.

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (2000) Evaluación física de agregados gruesos para pisos y pavimentos de concreto. *Construcción y Tecnología*, 25, pp. 23-33. El presente artículo tiene como objetivo hacer una propuesta de evaluación de los agregados gruesos basada en sus características mecánicas, propuesta que involucra su litología y su resistencia a la abrasión y al impacto. El trabajo se basó en las pruebas realizadas a materiales obtenidos de 25 diferentes sitios distribuidos en toda la república mexicana y en la experiencia de uso en la prospección de bancos para agregados. Se pretende definir un tipo específico de agregado, con características particulares claramente diferenciables como son tipo de roca, composición mineralógica, dureza, porosidad, textura superficial y discontinuidades, con la finalidad de recomendar un agregado grueso idóneo para la fabricación de estructuras de concreto que vayan a estar expuestas durante su vida en servicio a la abrasión y garantizar con esto una vida útil mayor.

Un objetivo paralelo es desmitificar una creencia popular que existe en la industria del concreto: la que indica que un agregado grueso tiene, por el hecho de ser una caliza o un basalto, un porcentaje estándar de pérdida por abrasión e impacto y, por consiguiente, un comportamiento también estándar cuando se encuentra expuesto en la superficie de un piso o un pavimento. Como se explica en este trabajo, no siempre sucede así; si bien es cierto que algunos tipos de roca tienen en general características muy particulares de su grupo, también es cierto que dentro de un mismo tipo de roca existen cambios sustanciales en cuanto a sus propiedades de calidad física intrínseca se refiere, los cuales se manifiestan mediante su evaluación físico-química de detalle.

Existe una relación entre la litología de los agregados y los valores obtenidos en las pruebas de impacto y abrasión. Los agregados provenientes de rocas basálticas se mantienen en un intervalo de 5 a 14 por ciento y de 12.5 a 37 por ciento respectivamente, correspondiendo los extremos con un basalto silicificado como material más resistente y un basalto vesicular o tezontle como material menos resistente. Los agregados provenientes de calizas mantienen un comportamiento mucho más uniforme, variando dentro de un intervalo de 9.81 a 16 por ciento en la prueba de impacto y de 28 a 36 por ciento en la prueba de abrasión, con excepción del mármol, el cual se consideró dentro de este grupo por ser mineralógicamente

semejante a una caliza, pero de menor dureza. Para el caso de los granitos, los valores de pérdida por abrasión varían desde 27 hasta 47 por ciento, considerando un granito sano y un granito alterado. Mientras que en la prueba de impacto varían de 13 a 17 por ciento.

Una observación importante de esta relación es que los valores máximos de pérdida por abrasión e impacto que presentan los agregados provenientes de una roca basáltica apenas son comparables con los valores mínimos que presenta un agregado proveniente de una caliza, incluso de un granito. Entonces, podemos argumentar que un agregado obtenido a partir de un basalto va a tener por lo regular mejor resistencia al desgaste por abrasión que un agregado obtenido a partir de una caliza, además de otras propiedades como es mejor textura superficial. Por esta razón, siempre que sea posible, será recomendable utilizar agregados de rocas basálticas cuando se quiera construir pisos y pavimentos resistentes a la abrasión, desde luego, que cumplan con las especificaciones de norma.

MPSM (2016) *Mejoramiento de las principales vías de acceso al hospital Essalud Tarapoto, distritos de Tarapoto y morales, provincia de San Martin – San Martin.* Tarapoto: contenido de sales solubles en agregados – Norma MTC E 219. La Municipalidad Provincial de San Martin para la realización del presente proyecto realizó diferentes ensayos de laboratorio, en la cual para la realización del ensayo de contenido de sales solubles se basó en la Norma MTC E 219 del EM 2016.

MPSM (2016) *Mejoramiento de las principales vías de acceso al hospital Essalud Tarapoto, distritos de Tarapoto y Morales, provincia de San Martin – San Martin.* Tarapoto: equivalente de arena – Norma MTC E 114. La Municipalidad Provincial de San Martin para la realización del presente proyecto realizó diferentes ensayos de laboratorio, en la cual para la realización del ensayo de contenido de equivalente de arena se basó en la Norma MTCE 114 del EM 2016.

MPSM (2016) *Mejoramiento de las principales vías de acceso al hospital Essalud Tarapoto, distritos de Tarapoto y Morales, provincia de San Martin – San Martin.* Tarapoto: Abrasión – Norma MTC E 207. La Municipalidad Provincial de San Martin para la realización del presente proyecto realizó diferentes ensayos de laboratorio, en la cual para la realización del ensayo de abrasión se basó en la Norma ASTM C 131, que es equivalente a la Norma MTCE 207 del EM 2016.

MPSM (2016) *Mejoramiento de las principales vías de acceso al hospital Essalud Tarapoto, distritos de Tarapoto y morales, provincia de San Martín – San Martín*. Tarapoto: Ensayo de CBR – Norma MTC E 132, Norma ASTM D 1883, Norma AASHTO T – 193. La Municipalidad Provincial de San Martín para la realización del presente proyecto realizó diferentes ensayos de laboratorio, en la cual para la realización del ensayo de CBR se basó en la Norma antes mencionadas, que son equivalente a la Norma MTCE 132 del EM 2016.

2.2. Definición de Términos

Sub Base

Duravía (2012) *Estructura del Pavimento*. Marzo 27, 2017, de Duravía Sitio web: <http://www.duravia.com.pe/hello-world/>. Es la capa que está apoyada sobre la subrasante, compuesta por materiales granulares de buena gradación. Deberá ser perfilada y compactada entre el 95% y 100% de su máxima densidad seca mediante el ensayo proctor estándar. El empleo de una subbase implica mejorar la capacidad de soporte de suelo que se traduce en una reducción del espesor de carpeta de rodadura. Sin embargo, el impacto no es significativo.

Cantera

Rojas, Z. (2013) *Estudio de Cantera*. Febrero 10, 2017, de slideshare Sitio web: <https://es.slideshare.net/zulemarojascartolin/cantera-27927127>. Son explotaciones de rocas industriales y ornamentales; también es una explotación superficial a cielo abierto de una roca muy bien clasificada y cuantificada, a excepción de las calizas, carbón y metales, donde se refiere a la actividad minera que produce áridos: gravas, gravillas, arenas, etc. Que abastecen a las necesidades de la construcción; además donde se aplica la más variada tecnología que va desde el pico y la pala hasta la pólvora y maquinaria de diferente orden.

Métodos Geofísicos

Wikipedia (2010) *Métodos Geofísicos*. Julio 30, 2017, de Wikipedia Sitio web: https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todos_geof%C3%A9sicos.

Los métodos geofísicos son pruebas realizadas para la determinación de las características geotécnicas de un terreno, como parte de las técnicas de reconocimiento de un reconocimiento geotécnico.

Agregados.

Trinidad, S. (2014) *Agregados para la Construcción (Piedra y Arena)*. Febrero 10, 2017, de slideshare Sitio web: <http://es.slideshare.net/ludwigtrinidad/agregados-para-la-construccion>.

Son las derivaciones de las rocas ígneas de las sedimentarias y de las metamórficas que se utilizan en la construcción, y es de esperarse que las cualidades físicas y mecánicas de la roca madre se conserven en los agregados.

Agregado de gradación fina

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (2016) *Manual de Ensayo de Materiales*. Perú: MTC.

Agregado cuya gradación es continua desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan estas últimas.

Agregado de gradación gruesa

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (2016) *Manual de Ensayo de Materiales*. Perú: MTC.

Agregado cuya gradación es continua desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan los tamaños gruesos.

Granulometría

Hedilberto (2013) *Clasificación Granulométrica*. Febrero 10, 2017, de wikipedia Sitio web: https://es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_granulom%C3%A9trica.

Se denomina granulometría, a la medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.

Abrasión

Marcos (2005) *Abrasión*. Febrero 10, 2017, de wikipedia Sitio web: <https://es.wikipedia.org/wiki/Abrasi%C3%B3n>.

Es la acción mecanizada de rozamiento y desgaste que provoca la erosión de un material o tejido.

Desgaste de los agregados

Quiñonez N. (2017) *Ensayo de Agregados*. El Rincón del Vago Sitio web: <http://html.rincondelvago.com/agregados.html>.

Consiste en realizar el desgaste de los agregados gruesos de tamaños menores de 1 ½”, por resistencia de abrasión utilizando la máquina de ensayo de los ángeles.

CBR de los suelos

Chang, L. (2017) *C.B.R (California Bearing Ratio)*.Scribd Sitio web: <https://es.scribd.com/doc/39665584/DEFINICION-CBR>.

El CBR de un suelo es la carga unitaria correspondiente a 0.1” o 0.2” de penetración, expresado en porciento en su respectivo valor estándar.

Limite líquido

Shuan, L. (2006) *Taller Básico de Mecánica de Suelos*. Perú: UNI.

Es el contenido de humedad por debajo del cual se comporta como un material plástico. A este nivel de contenido de humedad el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso.

Limite Plástico

Shuan, L. (2006) *Taller Básico de Mecánica de Suelos*. Perú: UNI.

Es el contenido de humedad por debajo del cual se puede considerar el suelo como material plástico.

Índice de plasticidad

Wikivia (2009) *Índice de Plasticidad*. Marzo 27, 2017, de Wikivia Sitio web: http://www.wikivia.org/wikivia/index.php/Indice_de_plasticidad.

El índice de plasticidad (IP) es el rango de humedades en el que el suelo tiene un comportamiento plástico. Por definición, es la diferencia entre el Límite líquido y el Límite plástico.

Cedazo

Wikipedia (2017) *Cedazo*. Mayo 11, 2017, de Wikipedia Sitio web: <https://es.wikipedia.org/wiki/Cedazo>.

Se conoce como tamiz al cedazo muy tupido generalmente utilizado para la determinación de curvas granulométricas en varios materiales. En los laboratorios de suelos se utilizan series estandarizadas de tamices. El proceso de separar sólidos mediante cedazos o tamices se denomina cribado o tamizado.

Canto Rodado

Wikipedia (2016) *Canto Rodado*. Marzo 27, 2017, de Wikipedia Sitio web: https://es.wikipedia.org/wiki/Canto_rodado.

Son fragmentos de roca pulidos y sueltos, susceptibles de ser transportados por medios naturales, como las corrientes de agua, los corrimientos de tierra, etc. Aunque no se hace distinción de forma, en general, un canto rodado adquiere una morfología más o menos redondeada, subredondeada u oblonga, sin aristas y con la superficie lisa, debido al desgaste sufrido por los procesos erosivos durante el transporte, generalmente causados por la corrosión o las corrientes de agua (erosión hídrica).

Cuarzo

Wikipedia (2017) *Cuarzo*. Marzo 27, 2017, de wikipedia Sitio web: <https://es.wikipedia.org/wiki/Cuarzo>.

El cuarzo es un mineral compuesto de sílice (SiO_2). Tras el feldespato es el mineral más común de la corteza terrestre estando presente en una gran cantidad de rocas

ígneas, metamórficas y sedimentarias. Destaca por su dureza y resistencia a la meteorización en la superficie terrestre.

Cuarcita.

Wikipedia (2017) *Cuarcita*. Marzo 27, 2017, de Wikipedia Sitio web: <https://es.wikipedia.org/wiki/Cuarcita>.

La cuarcita o metacuarcita es una roca metamórfica dura con alto contenido de cuarzo. En composición la mayoría de las cuarcitas llegan a ser más de 90 % de cuarzo y algunas incluso 99 %. El término cuarcita a menudo es usado erróneamente para designar a la cuarzoarenita u ortocuarcita, roca sedimentaria cementada con sílice que ha precipitado de aguas intersticiales durante su diagénesis.

Granito

Wikipedia (2012) *Granito*. Mayo 11, 2017, de Wikipedia Sitio web: <https://es.wikipedia.org/wiki/Granito>.

El granito, también conocido como piedra berroqueña, es una roca ígnea plutónica formada esencialmente por cuarzo, feldespato y mica. Mientras el término según los estándares de Unión Internacional de Ciencias Geológicas refiere una composición estricta, el término granito es a menudo usado dentro y fuera de la geología en un sentido más amplio incluyendo a rocas como tonalitas y sienitas de cuarzo. Para el uso amplio de granito, algunos científicos han adoptado el término granitoide.

Arenisca

Wikipedia (2017) *Arenisca*. Mayo 12, 2017, de Wikipedia Sitio web: <https://es.wikipedia.org/wiki/Arenisca>.

La arenisca o psamita es una roca sedimentaria de tipo detrítico, de color variable, que contiene clastos de tamaño arena. Tras las lutitas son las rocas sedimentarias más comunes en la corteza terrestre. Las areniscas contienen espacios intersticiales entre sus granos.

Caliza

Wikipedia (2017) *Caliza*. Mayo 26, 2017, de Wikipedia Sitio web: <https://es.wikipedia.org/wiki/Caliza>.

La caliza es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio (CaCO_3), generalmente calcita, aunque frecuentemente presenta trazas de magnesita (MgCO_3) y otros carbonatos. También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, etc., que modifican (a veces sensiblemente) el color y el grado de coherencia de la roca.

Diabasa

Wikipedia (2017) *Diabasa*. Mayo 26, 2017, de Wikipedia Sitio web: <https://es.wikipedia.org/wiki/Diabasa>.

La diabasa o dolerita, comúnmente conocida como granito negro es una roca ígnea intrusiva de granulado fino a medio, con muchos cristales de color gris oscuro o negro. Se trata de una roca extremadamente dura y resistente, siendo por lo común extraída de la cantera para grava, bajo el nombre de trampa. Químicamente y según las leyes de los minerales, la diabasa tiene un parecido con el basalto, una roca volcánica, pero es generalmente un poco áspera de textura.

Gabro

Wikipedia (2017) *Gabro*. Mayo 26, 2017, de Wikipedia Sitio web: <https://es.wikipedia.org/wiki/Gabro>.

En su sentido estricto el gabro es una roca ígnea plutónica compuesta principalmente de plagioclasa cálcica y piroxeno en proporciones de volumen similares. El gabro sensu stricto es el equivalente plutónico del basalto, pero a diferencia de este la mineralogía del gabro es mucho más variable.

Rocas Silíceas

Wikipedia (2017) *Rocas Silíceas*. Mayo 26, 2017, de Wikipedia Sitio web: https://es.wikipedia.org/wiki/Rocas_sil%C3%ADceas.

Rocas silíceas o rocas ácidas

Es una denominación general para el subconjunto de las rocas sedimentarias cuya característica común es el alto contenido en sílice (SiO_2). Entre estas rocas se incluyen las rocas siliciclásticas, compuestas principalmente por granos de cuarzo, en cuyo proceso no hay un origen orgánico y donde la partícula ‘clástica’ hace mención a su composición de fragmentos de otras rocas.

Muestreo Polietápico

Encuesta de Opinión (2008) *Que es un Diseño Polietápico*. Julio 31, 2017, de Encuesta de Opinión Sitio web: <http://encuestasdeopinion.blogspot.pe/2008/09/qu-es-un-diseo-muestral-polietpico.html>.

Un diseño muestral polietápico es un tipo de diseño de investigación de un proyecto para recoger datos a través de una encuesta de opinión que se halla dividido en distintas etapas de planificación y ejecución. Dicho de otro modo, es una muestra -generalmente representativa- diseñada para obtener datos y generalizarlos a una cierta población, que para recabar datos requiere de distintas etapas o procedimientos. Estas etapas se refieren a diversos criterios que se implementan para llegar a la muestra final, o sea, para llegar a los individuos que responderán finalmente la encuesta.

2.3. Bases Teóricas

2.3.1. Canteras

Hernández, J., & Cárdenas, E. (1998) *Explotación subterránea de canteras, una alternativa económica y ambiental en zonas urbanas*. Colombia: Tesis Universidad Nacional de Colombia.

Dice: “La extracción de materiales pétreos para la construcción es importante en cualquier lugar del mundo, ya que de esta actividad depende el buen desarrollo de las obras de infraestructura que impulsan el crecimiento en un país. Antes de continuar con un análisis más a fondo, hay que recordar algunas definiciones las cuales pueden servir para tener claro los diferentes aspectos a tratar en el presente trabajo. Dentro del marco de “Explotación de materiales para construcción” coexisten definiciones de diferentes profesionales referentes al término “cantera”, algunas de las cuales se encuentran expuestas a continuación:

Cantera: es el término genérico que se utiliza para referirse a las explotaciones de rocas industriales y ornamentales.

Cantera: es una explotación superficial a cielo abierto de una roca muy bien clasificada y cuantificada, a excepción de las calizas, carbón y metales, donde se refiere a la actividad minera que produce áridos: rajón, gravas, gravillas, arenas, etc., que abastecen las necesidades de la construcción; además donde se aplica la más variada tecnología que va desde el pico y la pala hasta la pólvora y maquinaria de diferente orden.

Cantera: es el término que se utiliza para referirse a las explotaciones a cielo abierto de materiales de construcción entre los cuales se incluyen las rocas industriales y ornamentales, gravas, gravillas, arenas y arcillas.

Cantera: es el lugar donde se extraen los materiales de construcción, sea directamente o después de transformación, áridos para vías, o materiales para otras necesidades ingenieriles tales como enrocados, terraplenes y obras de contención. Excluyendo de esta clasificación la extracción de minerales propiamente dichos.

Cantera: es un sitio de préstamo; es decir, en un sitio de explotación de materiales para algún fin u objetivo.

Cantera: es un sitio de explotación de agregados que usualmente es a cielo abierto.

Cantera: es un sitio o lugar de la corteza terrestre del cual se explotan materiales para un uso específico; normalmente se habla de materiales para la construcción.

Cantera: es la explotación de materiales de construcción que por lo general se realiza a cielo abierto.

Cantera: es el sitio donde se saca piedra de construcción, generalmente pueden establecerse a cielo abierto.

Cantera: es un sistema de explotación a cielo abierto que permite la extracción de rocas y minerales no disgregados utilizados como materiales de construcción.

Cantera: es el sitio de donde se saca piedra, greda, u otra sustancia análoga para obras varia.

Cantera: es el trabajo a cielo abierto o superficial, o excavación para la extracción de piedra de construcción, carbón, grava o minerales.

Según esta recopilación de definiciones respecto a que es una cantera, se pueden observar dos tendencias diferentes, la que define como “el lugar de explotación” y la que toma como el “sistema de extracción”. La exploración e investigación del suelo es muy importante tanto para la determinación de las características del suelo, como para el correcto diseño de la estructura del pavimento. Si la información registrada y las muestras enviadas al laboratorio no son representativas, los resultados de las pruebas aún con exigencias de precisión, no tendrán mayor sentido para los fines propuestos.

Si miramos el concepto más generalizado en el ámbito ingenieril, tenemos que la primera definición presenta mayor aceptación o es comúnmente más utilizada al referirse a este tipo de actividades; además se ve que la segunda propone a una cantera como el sistema de explotación a cielo abierto, excluyendo otros tipos de extracción de materiales de construcción los cuales pueden eventualmente presentarse subterráneamente. Si fuese un sistema como tal, sería la cantera un proceso de explotación el cual dejaría de lado el mismo hecho de su ubicación espacial y su relación con el entorno físico, para remitirlo únicamente a un conjunto de actividades características de la forma como se extraen los materiales.

Es importante observar que la mayoría de las definiciones abarcan en su significado, no solo, la explotación a cielo abierto, sino también, la explotación de canteras en forma subterránea. Para este estudio, cantera se define como el lugar geográfico de donde se extraen o explotan agregados pétreos para la industria de la construcción o para toda obra civil, utilizando diferentes procesos de extracción dependiendo del tipo y origen de los materiales, donde se pueden presentar desde extracción con dragas en lechos de ríos hasta utilizar explosivos en laderas de montañas y cámaras de explotación.

2.3.1.1. Clasificación de las Canteras.

Se pueden clasificar dependiendo del tipo de explotación, el material que se quiera explotar y su origen.

Tabla 2
Tipos de canteras

Clasificación de canteras	
<i>Según el tipo de explotación</i>	Canteras a Cielo Abierto: En laderas, cuando la roca se arranca en la falda de un cerro. En corte, cuando la roca se extrae de cierta profundidad en el terreno. Canteras Subterráneas.
<i>Según el material a explotar</i>	De Materiales Consolidados o Roca. De Materiales no Consolidados como suelos, agregados, terrazas aluviales y arcillas.
<i>Según su origen</i>	Canteras Aluviales Cantera de Roca o peña.

Fuente: Hernández, J., & Cárdenas, E.

2.3.1.2. Clases de Canteras.

Existen dos tipos fundamentales de canteras, las de formación de aluvión, llamadas también canteras fluviales, en las cuales los ríos como agentes naturales de erosión, transportan durante grandes recorridos las rocas aprovechando su energía cinética para depositarlas en zonas de menor potencialidad formando grandes depósitos de estos materiales entre los cuales se encuentran desde cantos rodados y gravas hasta arena, limos y arcillas.

La dinámica propia de las corrientes de agua permite que aparentemente estas canteras tengan ciclos de autoabastecimiento, lo cual implica una explotación económica, pero de gran afectación a los cuerpos de agua y su dinámica natural.

Dentro del entorno ambiental una cantera de aluvión tiene mayor aceptación en terrazas alejadas del área de influencia del cauce que directamente sobre él.

Otro tipo de canteras son las denominadas de roca, más conocidas como canteras de peña, las cuales tienen su origen en la formación geológica de una zona determinada.

Donde pueden ser sedimentarias, ígneas o metamórficas; estas canteras por su condición estática, no presentan esa característica de autoabastecimiento lo cual las hace fuentes limitadas a materiales.

Estos tipos de canteras se diferencian básicamente en dos factores, los tipos de materiales que se explotan y los métodos de extracción empleados para obtenerlos.

En las canteras de río, los materiales granulares que se encuentran son muy competentes en obras civiles, debido a que el continuo paso y transporte del agua desgasta los materiales quedando al final aquellos que tienen mayor dureza y además con características geométricas típicas como sus aristas redondeadas.

Estos materiales son extraídos con palas mecánicas y cargadores de las riberas y cauces de los ríos.

Las canteras de peña, están ubicadas en formaciones rocosas, montañas, con materiales de menor dureza, generalmente, que los materiales de ríos debido a que no sufren ningún proceso de clasificación; sus características físicas dependen de la historia geológica de la región, permitiendo producir agregados susceptibles para su utilización industrial; estas canteras se explotan haciendo cortes o excavaciones en los depósitos.

2.3.1.3. Productos de la explotación de una cantera y sus usos más frecuentes.

Según la utilización de los materiales en construcción de obras civiles, se conocen en el mercado diferentes tipos de productos: que son nombrados a continuación.

Tabla 3*Productos de la explotación de canteras*

Productos que se explotan de una cantera	
<i>Sillares o bloques</i>	Son bloques de areniscas de gran tamaño utilizados para enchape y fachadas.
<i>Triturados</i>	<p>Son los agregados más gruesos que se utilizan para la preparación de concreto reforzados y conformación de bases en la construcción de vías. Se dividen en tres clases.</p> <ul style="list-style-type: none"> • De primera: utilizados en concretos y bases de vías, diámetro aproximado 2.5 cm. • De segunda: utilizados en concretos y bases de vías, diámetro aproximado 5.0 cm. • De tercera: utilizándose en la afirmación de pisos, diámetro aproximado 10 cm.
<i>Gravilla</i>	<p>Agregados de granulometría menor que los triturados; según su tamaño se clasifican en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gruesa: diámetro 1.0 – 2.5 cm, se utiliza para conformación de base y mezcla asfáltica en vías y concretos. • Mediana: diámetro 0.7 – 1.0 cm, de igual utilización que la gruesa. • Fina: diámetro 0.5 – 0.7 cm, se usa en ornamentación de pisos y fachadas o para concretos y asfaltos.
<i>Arena</i>	<p>Es el agregado más utilizado en la construcción; sus usos más frecuentes son para morteros de cemento, pañetes, concretos simples y armados, bases de pisos, llenante en la construcción de vías y preparación de asfaltos; se clasifican en tres tipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Arenas naturales: son las extraídas de depósitos geológicos naturales. • Arenas de degrado: son las que se extraen de ríos, lagos o mares. • Arenas de trituración: son las resultantes del proceso de trituración de los agregados gruesos.
<i>Piedras de enchape</i>	Son rocas ornamentales, existen tres tipos, chapa, laja y esterilla.

Fuente: Hernández, J., & Cárdenas, E.

2.3.1.4. Materiales de construcción y su entorno geológico.

Los materiales de construcción se presentan en ambientes geológicos de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.

Rocas ígneas: son aquellos materiales pétreos que se han formado mediante el enfriamiento y solidificación del magma, luego de haber sido este arrojado a la superficie terrestre, o cristalizado a cierta profundidad en la corteza terrestre; dentro de estas rocas se utilizan como materiales de construcción, principalmente los granitos que son de notable resistencia por lo que su explotación es dificultosa.

Rocas Sedimentarias: son aquellos materiales pétreos formados por erosión de rocas y subterráneas pre-existentes que se depositan mediante acumulación mecánica, química u orgánica de restos de rocas y compuestos orgánicos que se cimentan total o parcialmente, siendo empleadas en mayor cantidad las de origen mecánico como conglomerados y areniscas.

Rocas Metamórficas: son las rocas ígneas o sedimentarias que han sufrido recristalización en estado sólido ante elevadas presiones y temperaturas, fenómenos de especial ocurrencia en profundidades terrestres o contiguo a volcanes; de estas rocas se utilizan los mármoles, algunos esquistos y la cuarcita, constituyéndose el mármol como el material decorativo de mayor empleo.

2.3.1.5. Geología.

La geología es uno de los factores más importantes, que influye en la determinación de la factibilidad o no de una explotación subterránea de canteras.

La determinación de las características estructurales con juga con el aspecto económico, permiten dar un enfoque más real de los posibles sistemas de explotación, entre los cuales están los sistemas a cielo abierto.

2.3.1.6. Métodos de Explotación.

Explotación mecánica (material relativamente blando que implica uso de maquinaria adecuada) o química (explosivos), o una combinación de ellos.

También se tiene en consideración del uso de maquinaria especializada según el tipo de material (como, por ejemplo, uso de hidromonitores)”.

2.3.1.7. Exploración de Suelos y Rocas

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (2013) *Exploración de Suelos y Rocas*. En Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos (pp.29-30). Perú: MTC.

AASHTO para la investigación y muestreo de suelos y rocas recomienda la aplicación de la norma T 86-90 que equivale a la ASTM D420-69; para el presente manual, se aplicará para todos los efectos el procedimiento establecido en las normas MTC E101, MTC E102, MTC E103 y MTC E104, que recoge los mencionados alcances de AASHTO y ASTM. En este capítulo se dan pautas complementarias para llevar a cabo el muestreo e investigación de suelos y rocas.

Para la exploración de suelos y rocas primero deberá efectuarse un reconocimiento del terreno y como resultado de ello un programa de exploración e investigación de campo a lo largo de la vía y en las zonas de préstamo, para de esta manera identificar los diferentes tipos de suelo que puedan presentarse.

El reconocimiento del terreno permitirá identificar los cortes naturales y/o artificiales, definir los principales estratos de suelos superficiales, delimitar las zonas en las cuales los suelos presentan características similares, asimismo identificar las zonas de riesgo o poco recomendables para emplazar el trazo de la vía.

El programa de exploración e investigación de campo incluirá la ejecución de calicatas o pozos exploratorios, cuyo espaciamiento dependerá fundamentalmente de las características de los materiales subyacentes en el trazo de la vía. Generalmente están espaciadas entre 250 m y 2,000 m, pero pueden estar más próximas dependiendo de puntos singulares, como en los casos de:

Cambio en la topografía de la zona en estudio.

Por la naturaleza de los suelos o cuando los suelos se presentan en forma errática o irregular.

Delimitar las zonas en que se detecten suelos que se consideren pobres o inadecuados.

Zonas que soportarán terraplenes o rellenos de altura mayor a 5.0m.

Zonas donde la rasante se ubica muy próxima al terreno natural ($h < 0.6$ m).

En zonas de corte, se ubicarán los puntos de cambio de corte a terraplén o de terraplén a corte, para conocer el material a nivel de subrasante.

De las calicatas o pozos exploratorios deberán obtenerse de cada estrato muestras representativas en número y cantidades suficientes de suelo o de roca, o de ambos, de cada material que sea importante para el diseño y la construcción. El tamaño y tipo de la muestra requerida depende de los ensayos que se vayan a efectuar y del porcentaje de partículas gruesas en la muestra, y del equipo de ensayo a ser usado.

Con las muestras obtenidas en la forma descrita, se efectuarán ensayos en laboratorio y finalmente con los datos obtenidos se pasará a la fase de gabinete, para consignar en forma gráfica y escrita los resultados obtenidos, asimismo se determinará un perfil estratigráfico de los suelos (eje y bordes), debidamente acotado en un espesor no menor a 1.50 m, teniendo como nivel superior la línea de subrasante del diseño geométrico vial y debajo de ella, espesores y tipos de suelos del terraplén y los del terreno natural, con indicación de sus propiedades o características y los parámetros básicos para el diseño de pavimentos. Para obtener el perfil estratigráfico en zonas donde existirán cortes cerrados, se efectuarán métodos geofísicos de prospección que permitan determinar la naturaleza y características de los suelos y/o roca subyacente (según Norma MTC E101)".

2.3.1.8. Estudio de Cantera de Suelo

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (2013) *Estudio de Canteras de Suelo*. En Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos (pp.53-55). Perú: MTC.

Dice: "El interés del estudio de las fuentes de materiales de donde se extraerán agregados para diferentes usos principales como mejoramientos de suelos, terraplenes, afirmado, agregados para rellenos, sub base y base granular, agregados para tratamientos bituminosos, agregados para mezclas asfálticas y agregados para mezclas de concreto, es determinar si los agregados son o no aptos para el tipo de obra a emplear, en tal sentido se requiere determinar sus características mediante la realización de los correspondientes ensayos de laboratorio.

2.3.1.8.1. Ubicación.

Las Fuentes de Materiales o Canteras serán ubicadas en función a su distancia de la obra a realizar (centro de gravedad), considerando para su selección la menor distancia a la obra, siempre que cumplan con la calidad y cantidad (potencia) requeridas por la obra. Para el efecto, se realizará un levantamiento topográfico del recorrido desde el inicio de la cantera a la obra, precisando kilometraje, longitud y tipo de acceso, asimismo se delimitará topográficamente los linderos de las fuentes de materiales o canteras.

2.3.1.8.2. Descripción.

Las Canteras serán evaluadas y seleccionadas por su calidad y cantidad (potencia), así como por su menor distancia a la obra. Las prospecciones que se realizarán en las canteras se efectuarán en base a calicatas, sondeos y/o trincheras de las que se obtendrán las muestras necesarias para los análisis y ensayos de laboratorio.

El estudio de canteras incluye la accesibilidad a los bancos de materiales, descripción de los agregados, usos, tratamiento, tipo, periodo de explotación, propiedad, permisos de uso y otras informaciones.

2.3.1.8.3. Muestreo.

Para muestreo de los estratos el consultor se ceñirá al Manual de Ensayo de Materiales del MTC vigente, norma MTC E 101. En lo no especificado en el Manual de Ensayo de Materiales, se procederá de acuerdo a lo siguiente:

Se realizará mínimo 05 exploraciones, por cada área menor o igual a una hectárea, la ubicación de los puntos de prospección será a distancias aproximadamente iguales, para luego densificar la exploración si se estima pertinente. Las exploraciones consistirán en calicatas, sondeos y/o trincheras, a profundidades no menores de la profundidad máxima de explotación, a fin de garantizar la real potencia de los bancos de materiales.

La cantidad de muestras extraídas de canteras deberá ser tal que permita efectuar los ensayos exigidos, así como también ensayos de verificación para rectificar y/o ratificar resultados poco frecuentes.

Las muestras representativas de los materiales de cada cantera serán sometidas a los ensayos estándar, a fin de determinar sus características y aptitudes para los diversos usos que sean necesarios (rellenos, afirmado, sub base, base, tratamientos superficiales, carpetas asfálticas, obras de concreto hidráulico, etc.).

Se presentarán registros de exploraciones para cada una de las prospecciones, en donde se detallarán las ubicaciones de las prospecciones con coordenadas UTM-WGS84, las características de los estratos encontrados tales como: tamaño, forma, color, espesor de cada estrato, profundidad de la prospección, así como material fotográfico de las calicatas; de tal manera que en los registros se precisen las características de los estrados encontrados.

Estas muestras se clasifican según Hvorslev (1949), en muestras representativas y no representativas:

Muestras representativas, son las que contienen todos los materiales constituyentes del estrato, del cual fueron tomadas, no han tenido ningún cambio químico. Sin embargo su condición física o estructural, sí se ha alterado, además de su contenido de humedad, estas muestras se usan para llevar a cabo una clasificación general, gracias a sus propiedades índice, y la identificación de cada material.

Muestras no representativas, se les conoce así, a las muestras, que no representan algún estrato en especial, sino que sus partículas se han mezclado con los de otros estratos o materiales, por lo cual resultan inadecuados para un examen de laboratorio, sin embargo, son útiles para establecer una clasificación preliminar, y una determinación de las profundidades a las cuales ocurren cambios mayores en los estratos, y de donde o a partir de cuándo, podemos obtener muestras representativas o no alteradas”.

2.3.1.9. Explotación de Canteras

Llerena, G. (2011) *Explotación de Canteras*. Abril 12, 2017, de Scribd Sitio web: <https://es.scribd.com/document/67834045/1-00-Explotacion-de-Canteras-Teoria-1>.

Dice:

2.3.1.9.1. Potencia y Rendimiento.

El consultor calculará el rendimiento y potencia de los materiales utilizados para cada uso, así mismo el uso, periodo y equipo de explotación. Los límites de las canteras o fuentes de materiales deben cubrir un área que asegure un volumen de material útil explotable del orden de 1.5 veces las necesidades del proyecto, considerando los factores volumétricos y una reserva en caso en obra se requiera un mayor volumen al previsto.

Referido a la cantidad de material existente en la zona y el porcentaje aprovechable.

Potencia Bruta: Es el volumen total de la cantera, se obtiene multiplicando el área total de la cantera por la profundidad de exploración.

Potencia Neta: Es el volumen de material utilizable que se espera obtener de la potencia bruta. Es la potencia bruta menos el material de desbroce y el desperdicio (Over).

Potencia Aprovechable: Es aquella parte de la potencia neta aprovechable para un fin específico.

2.3.1.9.2. Delimitación de la zona de Explotación.

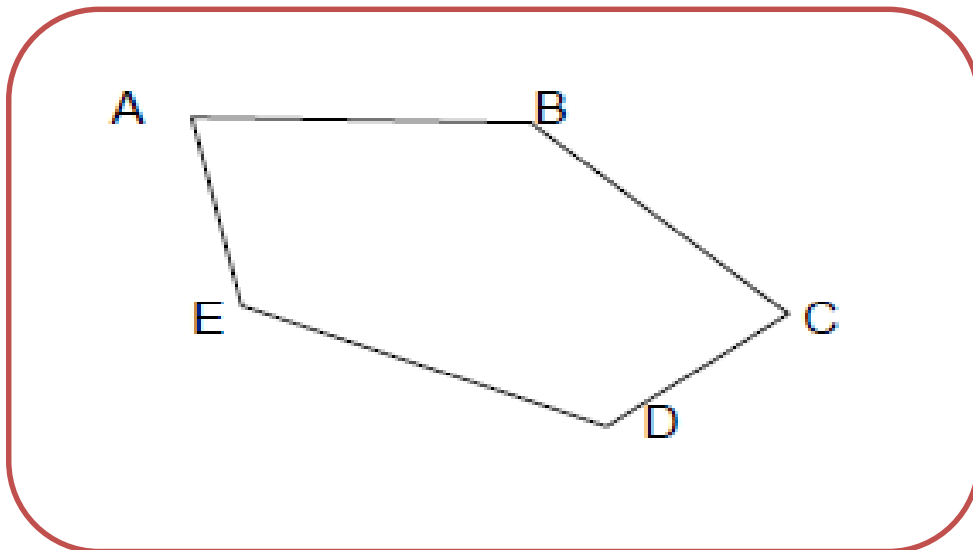


Figura 1: Levantamiento topográfico de la zona (Fuente: <https://es.scribd.com/document/67834045/1-00-Explotacion-de-Canteras-Teoria-1>)

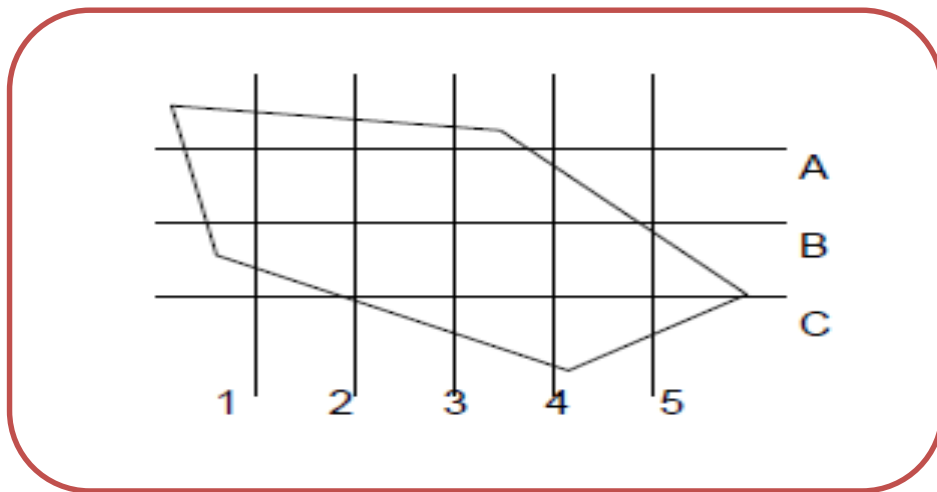


Figura 2: Calicatas de sondeo (Fuente: <https://es.scribd.com/document/67834045/1-00-Explotacion-de-Canteras-Teoria-1>)

2.3.1.9.3. Análisis de Perfiles Estratigráficos.

Evaluar potencia bruta, evaluar potencia útil y nivel freático. Ejemplo del perfil del Eje B.

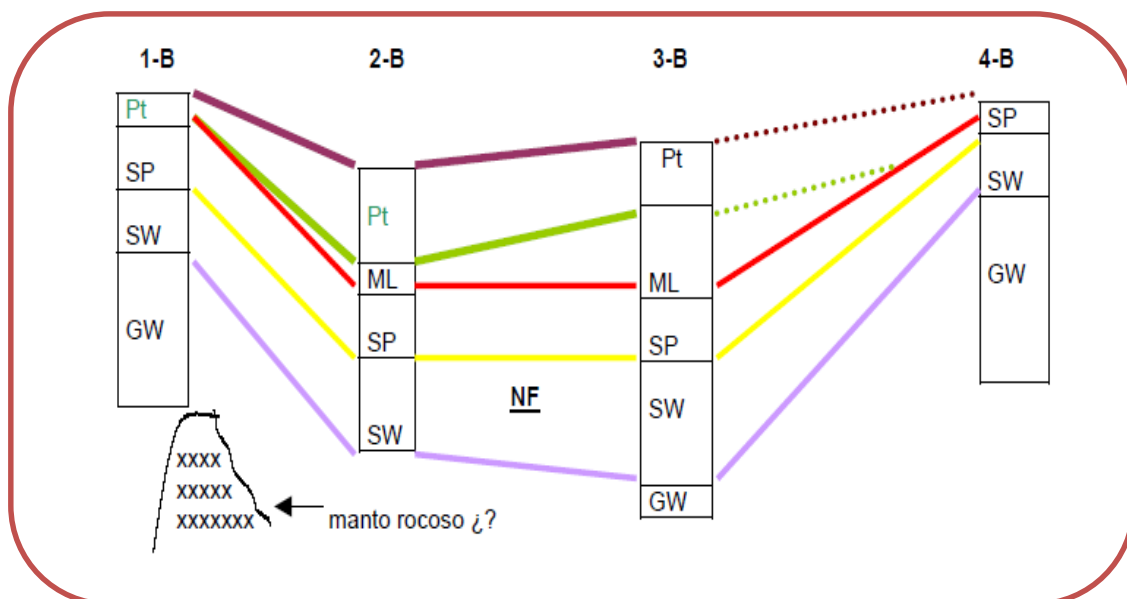


Figura3: Perfil estratigráfico del eje B. (Fuente: <https://es.scribd.com/document/67834045/1-00-Explotacion-de-Canteras-Teoria-1>.)

(*) Para el ejemplo, los estratos utilizables o aprovechables GW y GP.

Nota: Es indispensable interpretar adecuadamente el resultado del Ensayo Granulométrico en cada estrato, comparándolo con los registros de campo y fotografías.

2.3.1.9.4. Cálculo de Rendimientos.

Datos:

- a. Área de cantera : (A)
- b. Profundidad aprovechable : (H)
- c. Top soil (suelo superficial org.) : (h)
- d. Over de cantera (>3”) : (a%)
- e. Esponjamiento : (b%)

Potencia bruta: = A x H

Potencia neta en banco: = Pot. Brut – Desbroce

Desbroce = A x h

Potencia aprovechable en banco: = Pot. Neta - Over

2.3.1.9.5. Informe, Diagrama de Cantera, Fuentes de Agua e Instalaciones de Suministro

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (2013) Informe, Diagrama de Cantera, Fuentes de Agua e Instalaciones de Suministro. En Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos (pp.67-68). Perú: MTC.

“El informe geotécnico de canteras – fuentes de materiales debe incluir, al menos, la siguiente información:

Ubicación y Potencia de la cantera.

Condiciones de explotación, tales como nivel freático, accesos, pendientes, taludes.

Características principales de los materiales que puedan obtenerse.

Características y propiedades de los materiales para definir su aptitud como agregados para rellenos, su base, base, tratamientos superficiales, carpetas asfálticas, obras de concreto hidráulico, etc.

Rendimientos por tipo de uso, limitaciones o condicionantes constructivas que puedan restringir su uso (por ejemplo, condiciones de humedad, sobre tamaño, etc.).

Propiedad y disponibilidad de uso de la cantera o fuente de materiales.

Ubicación de las fuentes de agua y su calidad para ser usada en la obra.

Además, se presentará un plano de canteras y fuentes de agua en la cual se detallarán en forma completa y resumida:

Ubicación de las canteras y fuentes de agua, con relación al eje de la vía en construcción ó existente, señalando zonas favorables para acopio de materiales o instalación de plantas de procesamiento, vías de acceso, transitabilidad y distancia de transporte hasta la carretera, indicando el Kilometraje del punto de empalme. La ubicación de las canteras y fuentes de agua, estarán referidas al sistema de coordenadas del proyecto vial.

Ubicación de los sondajes, que deben ser siempre referidos al sistema de coordenadas del proyecto vial, y se hará en base a puntos fijos identificados en el terreno.

Resultados de las investigaciones de campo y laboratorio.

Características de los agregados, usos, potencia, rendimiento, tratamiento, periodo, equipo de explotación y propietario, posibilidad de ubicación de plantas de procesamiento de materiales.

Perfiles edafológicos, con los cuales podrá efectuarse la cuantificación o cubicación de los diversos materiales. Asimismo, en estos perfiles, se señalarán los espesores de materiales inapropiados que deben ser eliminados y las secciones reservadas para la extracción de ciertos tipos de agregados”.

2.3.2. Hidráulica Fluvial. Martin, J. (2001). *Nociones de Hidráulica Fluvial*. En Ingeniería de Ríos (pp.55 -63). Barcelona: Alfaomega.

Dice:

2.3.2.1. Granulometría.

Los lechos de los ríos pueden ser granulares o cohesivos. En el primer caso, el lecho está constituido por partículas sueltas de distintos tamaños. Los ríos aluviales, que discurren sobre materiales transportados por el propio río, tienen por ello lechos granulares. Un río puede tener también un cauce abierto en roca o materiales cohesivos; no por eso su contorno es fijo o inamovible pero las modificaciones del cauce serán muy lentas debido a la mayor resistencia a la erosión. Tras una erosión del fondo, un lecho cohesivo se puede restablecer en su fondo original, pero ya no como cohesivo sino como granular, y en esto se diferencia de los lechos granulares. La hidráulica fluvial relativa a lechos cohesivos está todavía en sus principios.

La propiedad individual de las partículas de un lecho granular que más importancia tiene en hidráulica fluvial es el peso. Los cauces naturales están formados por partículas de rocas y minerales cuyo peso específico tiene poca variación. El valor medio es $\gamma_s/\gamma = 2,65$. Gracias a ello, la propiedad de más importancia pasa a ser el tamaño, con representación del volumen de la partícula. Por tamaño se entiende la dimensión del segundo eje (eje b, gráfico 04) de un elipsoide al que se puede asimilar una partícula. Obsérvese que b es la dimensión decisiva para que una partícula pase o sea retenida por un cedazo.

La manera más común de analizar la distribución de tamaños en el lecho (o granulometría) es tamizar una muestra y pesar la fracción que pasa cada tamiz pero es retenido en el siguiente. La representación gráfica de estas fracciones en un histograma es una versión discreta, en clases de tamaños, de una función de densidad de probabilidad de los tamaños (gráfico 05). La gráfica acumulada donde se representa la fracción (o tanto por ciento) en peso menor que un tamaño determinado, se obtiene sumando los pesos de todas las clases inferiores. Esta curva es una versión discreta de la función de distribución acumulada de la variable tamaño D (gráfico 05).

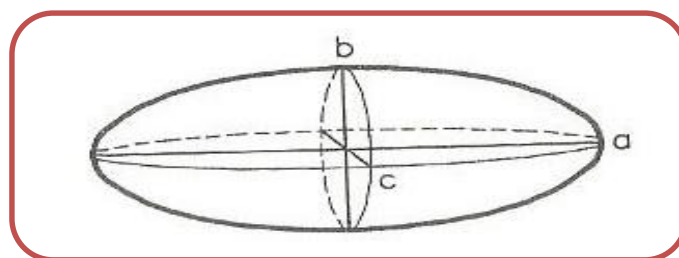


Figura 4: Ejes imaginarios de una partícula (Fuente: Martin, J.)

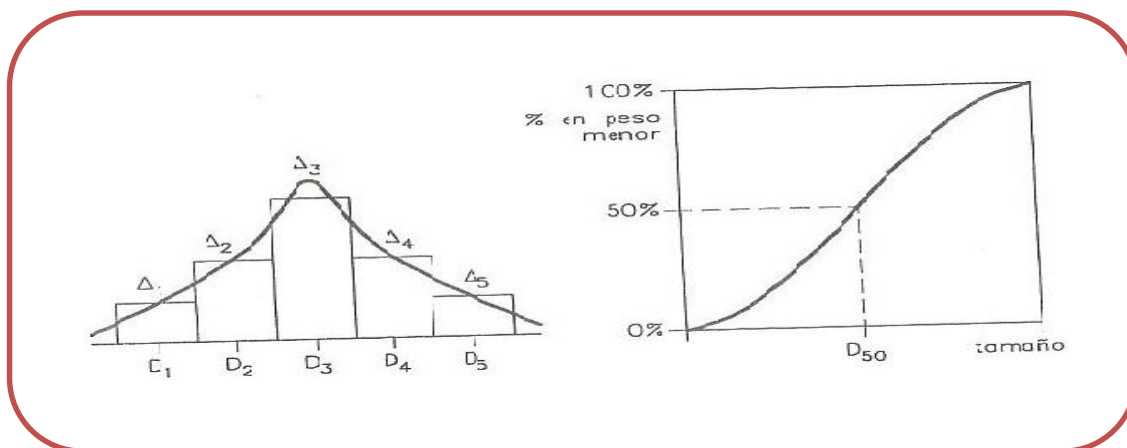


Figura 5: Distribución concreta o continua de los tamaños izquierda y curva granulométrica(acumulada) continua derecha (Fuente: Martin, J.)

En esta última representación, conocida también como curva granulométrica, se entiende la nomenclatura empleada para designar un tamaño: D_n es el tamaño tal que el $n\%$ del peso del material es menor que él. Con esta nomenclatura, si $n_1 > n_2$ entonces $D_{n_1} > D_{n_2}$. O también, por ejemplo, D_{90} significa un tamaño grande o la parte gruesa del material, mientras que D_{10} significa un tamaño pequeño o la parte final del material (gráfico 05). Pensando en términos estadísticos, interesa caracterizar la distribución granulométrica o de tamaños por unas medidas de posición y de dispersión. A partir de una muestra, si D_i es el centro de clase y Δ_i la fracción unitaria de peso en la clase (gráfico 05), la medida de posición llamada medida aritmética es el diámetro medio $D_m = \sum D_i \Delta_i$ y la medida de dispersión más importante es la varianza $\sigma^2 = \sum \Delta_i (D_i - D_m)^2$. Se emplea mucho D_{50} , tamaño que es la mediana de la distribución, en ocasiones como sustituto del diámetro medio. También se emplea mucho como medida de dispersión el parámetro adimensional $\sigma_g = \sqrt{D_{84}/D_{16}}$, llamado desviación típica granulométrica. Este último proviene de considerar que la distribución granulométrica es log-normal, es decir que el logaritmo de los tamaños D se distribuye normalmente. Entonces se cumple $\log D_{84} - \log D_{16} = 2 \sigma_g$ de donde se deduce la definición anterior.

Las partículas menores que 0,004 mm (4 micras) se llaman arcilla. Entre 0,004 mm y 0,062 mm se llaman limos. Entre 0,062 mm y 2,0 mm se llaman arenas. Entre 2,0 mm y 64 mm se llaman gravas. De ahí en adelante, la terminología castellana no parece completamente establecida, pero podría llamarse guijarros o cantos a los elementos hasta 25,6 cm y bolos o bloques de ahí en adelante. La palabra sedimento designa colectivamente el material de un

lecho. Como se ve, las potencias de 2 se utilizan en la clasificación granulométrica. De un lecho, es frecuente hacer el siguiente cambio de variable $\phi = -\log_2(D(\text{mm}))$ y usar la llamada escala ϕ en el eje de abscisas de las curvas granulométricas.

Los lechos granulares están frecuentemente compuestos de una mezcla de tamaños, desde fino hasta grueso. Si la desviación típica granulométrica es $\sigma_g > 3$ se dice que una granulometría es extendida o que el material está bien distribuido (bien *graduado*). Si por el contrario, $\sigma_g < 3$ se dice que una granulometría es uniforme o que el material está mal distribuido (mal *graduado*). El comportamiento de uno y otro lecho es diferente. La propiedad más destacada de los primeros es la posibilidad de que ocurra el fenómeno llamado acorazamiento. Con frecuencia, los lechos naturales con arenas y gravas siguen una distribución log-normal, mientras que los lechos de arenas finas uniformes pueden seguir una distribución normal.

2.3.2.2. Umbral o principio del movimiento.

Un lecho que soporta la circulación de una corriente de agua verá en algún momento desplazada una partícula por la fuerza del arrastre del agua. Saber en qué condiciones ocurre esto es el problema del umbral, principio, o condición crítica del arrastre o movimiento de fondo, problema intensamente investigado en hidráulica fluvial, con gran implicación práctica sobre la erosión de un fondo. El conocimiento que se tiene proviene principalmente de ensayos en laboratorio con arenas uniformes. Aunque no hay acuerdo completo, si parece dibujarse un consenso en torno a un resultado conocido como ábaco de Shields (1936).

Un lecho granular con agua en reposo (sin circular) también puede ver arrancadas sus partículas si el agua se agita lo suficiente. La intensidad de la turbulencia creada es un factor en el arranque, pero precisamente es el factor no considerado en lo que sigue. La circulación del agua ejerce una fuerza sobre el fondo, única acción considerada. La turbulencia del movimiento del agua es la “normal” en un régimen uniforme en lámina libre y excluye por tanto la turbulencia de gran intensidad que sería causada por circunstancias especiales (caídas, resaltos, etc.). La acción del agua sobre el fondo puede caracterizarse por una tensión cortante en el fondo τ . La resistencia de la partícula a ser movida puede relacionarse con su peso sumergido, el cual es función de $(Y_s - Y)$, peso específico sumergido, y del tamaño D que caracteriza el volumen. Con estas tres variables puede formarse el parámetro

adimensional $\bar{\tau} = (\tau / (Y_s - Y)D)$ o tensión cortante adimensional, llamado también parámetro de Shields o de movilidad, que compara como cociente la fuerza promotora del movimiento (acción de arrastre proporcional a τD^2) con la fuerza estabilizadora (peso, proporcional a $(Y_s - Y) D^3$). Como primera aproximación, la tensión en el fondo vale $\tau = YRhI$ con Rh radio hidráulico e I pendiente motriz, expresión que se obtiene haciendo el equilibrio entre peso y rozamiento para una rebanada vertical de flujo en lámina libre.

La acción del agua sobre el fondo puede representarse también por una velocidad característica llamada velocidad de corte v . Esta velocidad se define convencionalmente a partir de la tensión τ como $\tau = \rho v_*^2$ o $v_* = \sqrt{\tau/\rho}$. También puede definirse a partir del perfil de velocidades y entonces, como primera aproximación, puede usarse $v/v_* = 8.0 (\frac{y}{D})^{1/6}$ donde v es la velocidad media. El parámetro adimensional $\bar{\tau}$ puede también expresarse fácilmente en términos de velocidad como $\bar{\tau} = (v_*^2 / (g(p_s - p/p)D))$; tendría entonces la estructura de un número Froude. De todos modos, lo más interesante de v_* es que, como velocidad significativa para el fondo, es la más indicada para constituir un número de Reynolds llamado granular, definido como $Re_* = v_*/\nu$, con ν viscosidad cinemática.

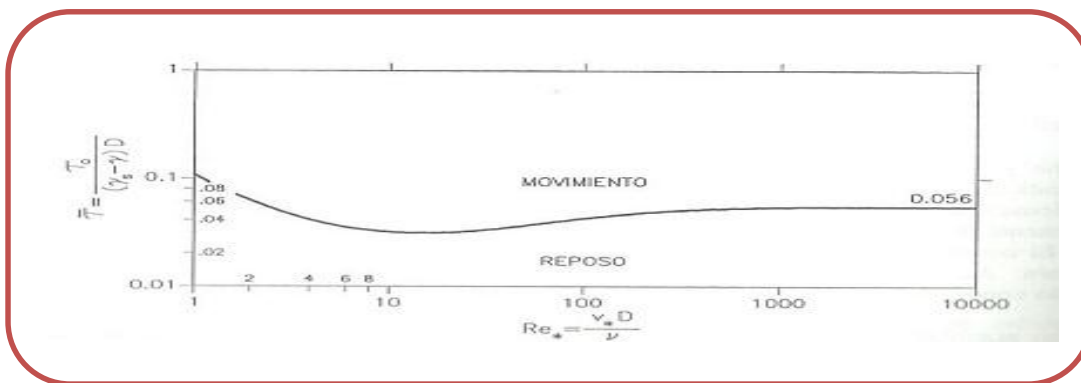


Figura 6: Ábaco de Shields (Fuente: Martin, J.)

En el ábaco de Shields (figura 6) se propone una curva de principio del movimiento en unos ejes $\tau/(Y_s - Y) D$ y Re_* . Por debajo de la curva no hay movimiento. La tensión adimensional debe alcanzar el valor de la ordenada, para cada abscisa, para empezar el movimiento. Como D participa en el denominador de τ , la tensión habrá de ser lógicamente mayor cuanto mayor sea el tamaño de la partícula: cuesta más mover una partícula gruesa que una fina. Pero obsérvese que en este rozamiento también cambia la abscisa. El número de Reynolds

granular refleja como cociente el valor relativo de las fuerzas de inercia y las viscosas en el entorno de un grano, es decir, el grado de turbulencia. A mayor Re_* el movimiento es más turbulento alrededor de la partícula y la curva de Shields tiende a ser horizontal, cosa que guarda una sugestiva analogía con el problema de la fricción en tuberías (ábaco de Moody).

De hecho, cuando $Re_* > 400$ el movimiento se llama turbulento rugoso, ya que la altura D del grano es mayor que la subcapa límite laminar δ (gráfico 07). En movimiento turbulento rugoso, la tensión necesaria para iniciar el movimiento o tensión crítica no depende ya del número de Reynolds. Su valor en el ábaco es $\tau_0/(Y_s - Y)D = 0.056$. Este es el caso más frecuente en ríos, por lo que esta última expresión tan sencilla puede sustituir al ábaco. Cuando $Re_* < 5$ el movimiento es turbulento liso ya que la subcapa límite laminar cubre la altura del grano (gráfico 07). Entre los valores 5 y 400 el movimiento es turbulento intermedio.

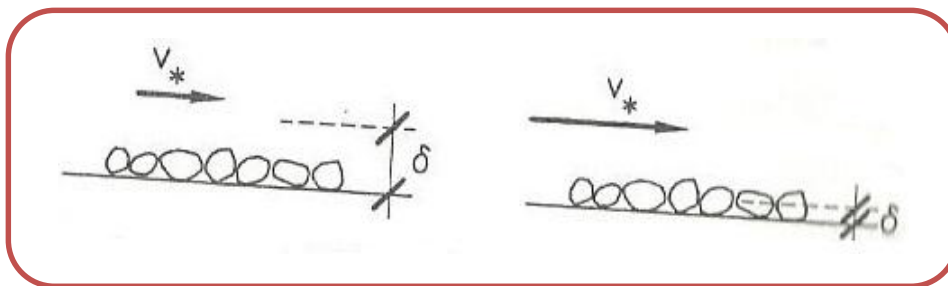


Figura 7: Movimiento turbulento liso izquierda y rugosa derecha (Fuente: Martin, J.)

En realidad, el umbral no es una línea tan nítida como el ábaco sino una franja de considerable dispersión. A ello se añade el problema de los lechos de granulometría extendida. Aunque mejor fundado, el ábaco es más engorroso que el uso de las fórmulas empíricas explícitas (y no necesariamente más exacto). Estas usan la velocidad media y el calado del flujo como en la siguiente expresión adimensional $v / \sqrt{g \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right) D} = 1.414 \left(\frac{y}{D} \right)^{\frac{1}{6}}$, donde v significa la velocidad umbral o crítica.

2.3.2.3. Acorazamiento.

Una limitación de la teoría anterior es haberse deducido para materiales granulares finos y, sobre todo, de granulometría uniforme. Cuando el lecho está constituido por una mezcla de distintos tamaños, cada tamaño tiene una tensión crítica diferente, de manera que la corriente, teóricamente, puede desplazar los finos más fácilmente que los gruesos. Mediante

este rozamiento puede explicarse un desplazamiento selectivo de las partículas más finas que produzca con el tiempo, a partir de un material originariamente bien mezclado, una frecuencia mayor de gruesos en la superficie. Esta descripción corresponde a la realidad de los lechos de los ríos, ya que son frecuentemente de grano más grueso las capas superficiales que las capas profundas. A este estado se llama acorazamiento del lecho (grafico 08).

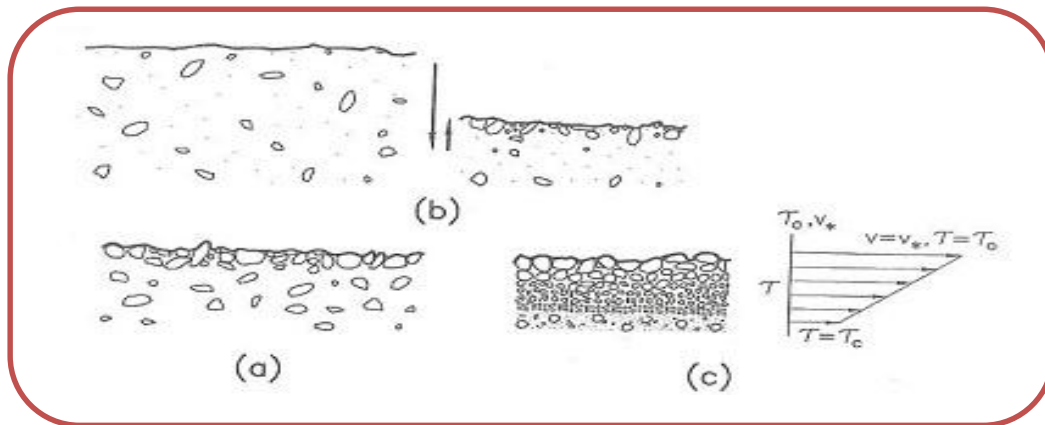


Figura 8: Acorazamiento observado (a), acorazamiento estático (b) y acorazamiento dinámico (c)

(Fuente: Martin, J.)

Podemos imaginar el origen de una capa superficial más gruesa (o “coraza”) como el resultado de un barrido o lavado de lo más fino o inversamente como la permanencia de las partículas gruesas cuando son movidas varias capas del lecho. En ambos sentidos se puede decir que el acorazamiento es estático (gráfico 08): la tensión cortante de la corriente selecciona los gruesos en la superficie porque no es capaz de moverlos. Esta noción se conoce como “transporte selectivo”. Por otra parte, se ha propuesto un concepto dinámico del acorazamiento, según el cual el transporte generalizado en el lecho afecta a un cierto espesor e , con mayor intensidad en la superficie del lecho, sometida a la tensión τ_0 , que en capas inferiores. Cuando todo el espesor e se mueve, las partículas gruesas no pueden ser desplazadas más que en el caso de pertenecer a la capa superficial donde la tensión es mayor. En cambio, las partículas finas se pueden mover en cualquiera de las capas. Por ello, durante el episodio de transporte se produce una clasificación de tamaños en el espesor e . Cuando cesa el transporte, los materiales clasificados quedan formando el lecho (gráfico 08).

Volviendo a la teoría de Shields, existe otro lecho comprobado que pone en cuestión las explicaciones basadas en ella. En el principio del movimiento de una mezcla, las partículas gruesas de la mezcla se ponen en movimiento para una tensión o velocidad menor de la que

necesitarían en caso de estar acompañadas por partículas de su mismo tamaño, constituyendo entonces un lecho uniforme, es decir, se mueven “antes de la cuenta”. Inversamente, las partículas finas de las mezclas se ponen en movimiento bajo una tensión o velocidad mayor que la correspondiente al lecho uniforme del mismo tamaño, es decir “después de la cuenta”. Esto significa que una mezcla presenta un comportamiento conjunto en el umbral del movimiento, retrasando (dificultando) el desplazamiento de las partículas finas y anticipando (facilitando) el de las partículas gruesas (aunque ocurre el primero antes que el segundo), de modo que no puede ser considerada simplemente como muchas partículas independientes. Esta noción se conoce como *movilidad igualada*. Obsérvese que este lecho apoya la explicación dinámica del acorazamiento.

Como tensión cortante necesaria para mover partículas de tamaño D_i en una mezcla de tamaño D_m puede usarse la siguiente expresión: $\tau_i = \tau_m \left(\frac{D_i}{D_m}\right)^{0.1}$, donde τ_m es la tensión correspondiente a un material uniforme de tamaño D_m .

El acorazamiento de un lecho influye en la rugosidad del cauce pues la superficie del fondo presenta partículas de grano mayor que el medio. También influye en el principio de movimiento del lecho ya que es preciso destruir primero la coraza para poder mover el material más fino que hay de bajo. En un cauce acorazado, unas crecidas normales son “de agua clara” porque encuentran limpia la coraza y el flujo no es capaz de destruirla; otras transportan material fino que circunstancialmente cubre la coraza, y finalmente otras, las mayores, destruyen la coraza, movilizan el material y remodelan el cauce. En los procesos de erosión general y de erosión local que estudiaremos a lo largo del curso el acorazamiento puede suponer un freno. La posibilidad de acorazamiento de un lecho puede juzgarse mediante la desviación típica granulométrica σ_g .

2.3.2.4. Clasificación del transporte de sedimentos.

El transporte de sedimentos por río puede clasificarse atendiendo a dos criterios: según el modo de transporte y según el origen del material. Según el modo del transporte, el sedimento puede ser transportado en suspensión, sostenido por la turbulencia del flujo, o bien por el fondo, rodando, deslizándose o saltando. Una partícula inicialmente en reposo puede ser transportada a saltos por el fondo cuando se supera el umbral del movimiento, pero si el río sigue creciendo, puede ser transportada luego en suspensión. Cuanto más

intensa es la acción de la corriente, mayor es el tamaño del material de fondo que es supuesto en suspensión y transportado de ese modo. Esta noción nos lleva a observar que el transporte de sedimento cuyo origen es el cauce se reparte entre los dos modos de transporte: en suspensión y de fondo.

El otro origen posible del material transportado es la cuenca hidrográfica del río. Se entiende que nos referimos al origen durante un episodio de lluvias y crecida fluvial. Evidentemente a largo plazo todo el material del cauce tiene también su origen en la cuenca. El origen de la cuenca significa que simultáneamente al transporte de fondo y suspensión con origen en el cauce, la corriente transporta material con origen en la cuenca, materia muy fina llamado material de lavado de la cuenca. Este material es transportado siempre en suspensión, por lo que el modo de transporte en suspensión suma material de los dos orígenes distintos. Un criterio práctico para separar un origen del otro es el tamaño de las partículas $D = 0,0625$ mm. El material inferior a éste (arcillas y limos) procede mayoritariamente del lavado de la cuenca mientras que el superior (arenas) procede del lecho. La clasificación del transporte se resume en el grafico 09.

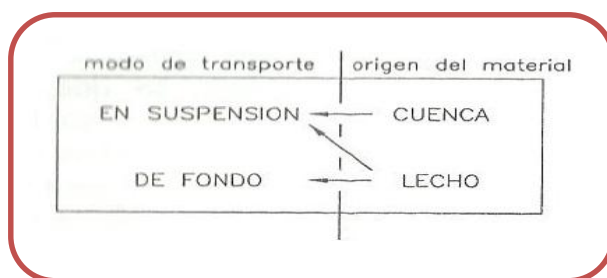


Figura 9: Clasificación del transporte de sedimentos (Fuente: Martin, J.)

El transporte en suspensión puede representar el 90% o más de todo el transporte sólido de un río, especialmente de un río grande, y dentro de él el material de lavado puede ser una importante. Este material de lavado está ligado a las características hidrológicas de la cuenca: la litología, los suelos, las pendientes, la vegetación, la precipitación, la esorrentía, etc. De hecho, la pérdida de suelo de una cuenca podría cuantificarse mediante el material de lavado transportado por el río. El río sirve tan solo de “corredor” o “vector” de este transporte, al menos mientras no desborda su cauce principal. Las llanuras de inundación, sin embargo, contienen cantidades importantes de material menor de 0.062 mm, lo que

prueba que parte del material de lavado se deposita en ellas, dando lugar a sus depósitos de acreción vertical. En cambio, esta clase de material se encuentra en cantidades despreciables en los lechos de los cauces principales. El material transportado en suspensión tiene gran repercusión en la salida o desembocadura de un sistema fluvial: en la formación de los deltas o la colmatación de los embalses. El transporte de fondo (el 10% restante quizás) tiene, sin embargo, la mayor repercusión morfológica sobre el río mismo, porque su desequilibrio causa modificaciones morfológicas, erosiones y sedimentaciones, fenómenos de gran importancia en ingeniería fluvial. El transporte de fondo (y más exactamente el transporte de material del cauce) está ligado a las características hidráulicas del cauce: anchura, pendiente, granulometría, caudal, etc.

2.3.2.5. Técnicas de muestreo y medidas.

Del fenómeno del acorazamiento se desprenden algunas consecuencias para los métodos de campo de determinación de granulometría. El método más completo se puede llamar muestreo volumétrico: consiste en extraer del cauce un cierto volumen del material “subsuperficial”. Esto implica retirar primero la capa superficial de un espesor comparable al tamaño de la mayor partícula observada en la superficie. El volumen que se toma a continuación debe ser representativo del material granular del cauce, para lo cual puede seguirse el criterio de que la mayor partícula extraída no represente más del 1% en peso de toda la muestra, o bien para mayor precisión el 0.1% en peso. Si, por ejemplo, $D_{\max} = 10$ cm estos criterios dan unos 100 y 1000 kg respectivamente. Como puede verse, en lechos de gravas serán necesarios medios mecánicos importantes para la extracción y manipulación de las muestras.

También puede interesar la granulometría de la coraza, por sus implicaciones sobre el inicio del movimiento o la rugosidad en aguas bajas o medias. El método de campo llamado muestreo superficial sirve para depósitos fuera del agua y consiste en marcar de algún modo el material expuesto en la superficie (por ejemplo, como pintura) y retirar todo el material marcado, pero no el que no ha quedado marcado. Para que la muestra se ha representativa, la mayor partícula marcada no debe representar más del 1% del área muestreada, lo que puede traducirse en que el área muestreada sea D_{\max}^2 .

La muestra tomada por muestreo superficial se tamiza y se pesa igual que la volumétrica. Sin embargo, las curvas granulométricas resultantes no son comparables. La conversión de

una curva obtenida por muestreo superficial (s) en una curva granulométrica propiamente dicha (muestreo volumétrico v) se hace mediante $f_i^{(v)} = (f_i^{(g)} D_i^{-1} / \sum f_i^{(g)} D_i^{-1})$. Esta expresión traduce el lecho intuitivo (gráfico 10) de que cuanto mayor es una partícula (D) más presencia tiene proporcionalmente en peso en la muestra superficial (frecuencia $f^{(s)}$) con respecto a su frecuencia verdadera en el volumen (frecuencia $f^{(v)}$). El subíndice i numera las clases de los tamaños y D_i es el centro de la clase.

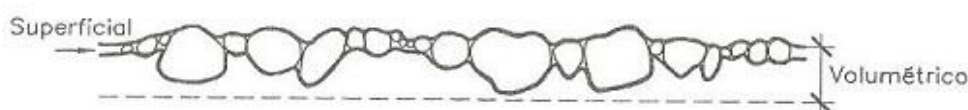


Figura 10: Comparación intuitiva entre muestra superficial y volumétrica (Fuente: Martin, J.)

Fuera del agua también puede realizarse un muestreo por conteo del material superficial. A distancia regulares (pasos) se toma una partícula (la que toca la contera del zapato) y se mide su tamaño (como siempre, el eje b del elipsoide, gráfico 04). La curva granulométrica obtenida no requiere conversión a frecuencias volumétricas, pero esta trunca en un valor de 8 mm, aproximadamente, es decir, no contiene material inferior a este tamaño, lo cual repercute en todas las medidas de posición y dispersión de la curva granulométrica.

Además del muestreo del material del cauce, el trabajo de campo en hidráulica fluvial comprende la medida del caudal sólido. Los aparatos de medida son distintos para el transporte en suspensión y de fondo. Para el primero se usan recipientes de forma hidrodinámica (forma pez) con una boquilla para la entrada del agua y una botella posterior para almacenar la muestra, cuyo contenido en sólidos se determina más tarde por decantación en laboratorio. Existen equipos para ser colocados en un punto y otros para recorrer a velocidad constante toda una vertical de medida, obteniendo así una medida integrada o global. Para el transporte de fondo, el tipo de equipo más usado consta de una boca seguida de un cesto de malla para retener el material sólido de cierto tamaño en adelante. En este caso se pesan los sólidos retenidos en el cesto cuando se saca fuera del agua.

La eficiencia de cualquiera de estos instrumentos es la relación entre el material recogido y el que hubiera pasado por el punto de medida en el mismo tiempo. En términos generales, la eficiencia baja si el instrumento frena la velocidad del agua delante de la entrada y si el

contenedor posterior se llena más de lo debido. En estaciones de aforo permanentes también pueden instalarse equipos fijos de medida del caudal sólido. En este caso, para el transporte de fondo se construyen trampas de sedimentos. El tipo de trampa más usado es una ranura transversal, con anchura mayor que el salto máximo de una partícula en saltación, comunicado con un depósito de almacenamiento.

2.3.3. Agregados

Torre, A. (2004) *Agregados para el Concreto*. En Curso Básico de Tecnología del Concreto para Ingenieros Civiles (pp.43-58). Perú: UNI.

Dice: “Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la **NTP 400.011**.

El agregado ocupa un volumen de entre el 70% y el 80 % del hormigón, es por ello que sus características tendrán un fuerte impacto en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido del mismo, así como en la durabilidad del pavimento.

A pesar de ello, la realidad actual muestra que usualmente se presta poca o ninguna consideración al ensayo de los agregados previo a su utilización en un proyecto. En general las evaluaciones se realizan una vez adjudicada la obra y muchas determinaciones exceden los plazos disponibles para obtener resultados confiables.

En forma complementaria, se debe tener en cuenta no sólo la calidad de los componentes, sino la uniformidad en el tiempo de sus propiedades. Una variación en la granulometría o en el contenido de polvo, producirá un cambio en el contenido de agua de la mezcla para mantener la consistencia, y un incremento en el agua redundará en una pérdida de resistencia.

Básicamente, se puede indicar que los aspectos que definen el desempeño de un pavimento de hormigón están dados por la ausencia de fisuras y fallas, la rugosidad o confort de marcha, y la textura superficial que nos debe proveer adecuadas características de fricción con bajos niveles de ruido. Muchas de estas propiedades están directamente relacionadas con las características de los agregados.

En este trabajo se resumen las propiedades principales de los agregados que impactan en la calidad del hormigón y en el desempeño del pavimento en servicio, las cuales son las que usualmente se evalúan al momento de definir una fuente de provisión. También se enumeran las respectivas normas de aplicación, y se propone un esquema de evaluación para contar en forma preventiva con información actualizada de las propiedades principales de los distintos yacimientos, a fin de poder valernos de ella al momento del proyecto y de la ejecución de las obras.

2.3.3.1. Clasificación

Existen varias formas de clasificar a los agregados, algunas de las cuales son:

2.3.3.1.1. Por su naturaleza

Los agregados pueden ser naturales o artificiales, siendo los naturales de uso frecuente, además los agregados utilizados en el concreto se pueden clasificar en: agregado grueso, fino y hormigón (agregado global).

El agregado fino, se define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas.

El agregado grueso, es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava.

El hormigón, es el material conformado por una mezcla de arena y grava este material mezclado en proporciones arbitrarias se encuentra en forma natural en la corteza terrestre y se emplea tal cual se extrae en la cantera.

2.3.3.1.2. Por su peso específico y absorción. (NTP 400.021 – NTP 400.022)

Peso específico

El peso específico de los agregados es un indicador de calidad, en cuanto que los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que para bajos valores generalmente corresponden a agregados absorbentes y débiles.

Peso específico del agregado fino. NTP 400.022

La presente norma establece el método de ensayo para determinar el peso específico (densidad); peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas en agua del agregado fino.

Las definiciones que se sugieren en la presente norma son:

Peso específico

Es la relación a una temperatura estable, de la masa de un volumen unitario de material, a la masa del mismo volumen de agua destilada libre de gas.

Peso específico aparente

Es la relación a una temperatura estable, de la masa en el aire, de un volumen unitario de material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas, si el material es un sólido, el volumen es igual a la porción impermeable.

Peso específico de masa

Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material (incluyendo los poros permeables e impermeables naturales del material); a la masa en el aire de la misma densidad, de un volumen igual de agua destilada libre de gas.

Peso específico de masa saturado superficialmente seco

Es lo mismo que el peso específico de masa, excepto que la masa incluye el agua en los poros permeables.

Nota: El peso específico anteriormente definido está referido a la densidad del material, conforme al Sistema Internacional de Unidades.

Peso específico del agregado grueso. NTP 400.021

Es la relación a una temperatura estable de la masa en el aire de un volumen unitario de material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas.

Absorción del agregado fino. NTP 400.022

La presente norma, establece el método de ensayo para determinar el porcentaje de absorción (después de 24 horas en el agua).

Podemos definir la absorción, como la cantidad de agua absorbida por el agregado sumergido en el agua durante 24 horas.

Se expresa como un porcentaje del peso del material seco, que es capaz de absorber, de modo que se encuentre el material saturado superficialmente seco.

La absorción del agregado grueso se determina por la NTP 400.021.

2.3.3.1.3. Por su densidad

Se pueden clasificar en agregados de peso específico normal comprendidos entre 2.50 a 2.75, ligeros con pesos específicos menores a 2.5, y agregados pesados cuyos pesos específicos son mayores a 2.75.

2.3.3.1.4. Por el origen, forma y textura superficial

Por naturaleza los agregados tienen forma irregularmente geométrica compuestos aleatoriamente por caras redondeadas y angularidades. En términos descriptivos la forma de los agregados puede ser:

Angular : Cuyos bordes están bien definidos y formado por la intersección de sus caras (planas) además de poca evidencia de desgaste en caras y bordes.

Sub angular : Evidencian algo de desgaste en caras y bordes, pero las caras están intactas.

Sub redondeada: Considerable desgaste en caras y bordes.

Redondeada : Bordes desgastados casi eliminados.

Muy redondeadas : Sin caras ni bordes.

Respecto de la textura superficial estas pueden ser:

Lisa

Áspera

Granular

Vítrea

Cristalina

La textura superficial depende de la dureza, tamaño del grano y las características de la roca original. La forma y la textura del material pueden influir altamente en la resistencia a la flexión del concreto estas características se deben controlar obligatoriamente en los concretos de alta resistencia. También se puede afirmar que la forma y textura de las arenas influyen en los requerimientos de agua en el concreto.

2.3.3.1.5. Por el tamaño del agregado

Según su tamaño, los agregados para concreto son clasificados en:

Agregados finos (arenas)

Agregados gruesos (piedras)

2.3.3.2. Funciones del agregado

En función de que el agregado ocupa un volumen de entre el 70 al 80 % del hormigón, sus características tienen un fuerte impacto en las propiedades del mismo y en su comportamiento en servicio.

En general hay conciencia de que la forma y textura, así como la distribución granulométrica de un conjunto de agregados inciden fuertemente en las propiedades en estado fresco del hormigón. Sin embargo, no se tiene en cuenta adecuadamente el importante rol que tienen las características mecánicas y mineralógicas de los áridos en el desempeño de los pavimentos de hormigón.

En este sentido se debe distinguir entre ensayos de aceptación y ensayos de caracterización. Los primeros permiten definir la aptitud de un determinado yacimiento, o frente de explotación. La frecuencia de realización es baja, pero se debe tener presente que en general demandan mucho tiempo para obtener resultados. Algunos ensayos demoran hasta dos años, por lo cual es evidente que se deben realizar con suficiente prelación al inicio de una obra,

incluso previo a la adjudicación de la misma. Están muy vinculados a la durabilidad del hormigón y entre ellos se puede mencionar: Reactividad álcali agregado, Inmersión en etilenglicol, Desgaste Los Ángeles, Estabilidad en Na_2SO_4 .

En cambio, los ensayos de caracterización pertenecen al ámbito del control de calidad que se realiza durante la producción, y se evalúan propiedades que al fluctuar modifican las propiedades en estado fresco del hormigón. Su frecuencia es muy alta, se realizan durante todo el transcurso de la obra y sus resultados se obtienen rápidamente (desde algunos minutos hasta pocas horas). Estos ensayos nos brindan una herramienta rápida para realizar las correcciones necesarias con el fin de mantener en el tiempo la calidad final del pavimento de hormigón. Entre ellos se puede indicar análisis granulométrico, contenido de polvo, humedad, etc.

Otros ensayos de caracterización, que se efectúan en general directamente en hormigón, pueden brindar información muy valiosa a la hora de proyectar un pavimento, debido a que se encuentran estrictamente vinculados a su comportamiento frente a las solicitaciones impuestas por el tránsito y clima. Entre ellas se pueden mencionar el coeficiente de dilatación térmica, el módulo de elasticidad, la resistencia a flexión, etc.

2.3.3.3. Proceso de producción del agregado

La producción de los agregados generalmente se realiza a cielo abierto, y se suelen seguir las siguientes actividades:

Eliminación de las capas no explotables (rocas estériles, degradadas, alteradas, cubierta vegetal, etc.).

Extracción de los materiales:

Extracción de los materiales sin consolidar.

Explotación mixta.

Extracción de materiales consolidados: suele utilizarse materiales explosivos para lograr la fragmentación de la roca los cuales son transportados después en dumpers o fajas transportadoras.

Transporte a la planta de tratamiento: generalmente se trata que las canteras se encuentren lo más cerca posible a la obra de ser necesario el transporte este puede ser: mediante fajas transportadoras o con camiones y/o dumpers.

Tratamiento de los agregados: A fin de obtener los agregados con las características deseadas se pueden seguir las siguientes etapas:

El chancado o trituración, para disminuir el tamaño de las partículas empleando para ello equipos como chancadoras de mandíbula, percusión, giratorios, molinos de bolas u otros.

Intercalados entre las actividades de chancado se aparecen los equipos de clasificación que nos permitirán seleccionar las partículas del material de acuerdo a sus tamaños separándolas entre las que pasan y las que no pasan.

Muchas veces va ser necesario lavar el material para eliminar el exceso de finos que puede alterar la adherencia del material, así como la resistencia principalmente.

Almacenamiento y envió.

2.3.3.4. Propiedades del agregado

2.3.3.4.1. Propiedades físicas

Densidad

Depende de la gravedad específica de sus constituyentes solidos como de la porosidad del material mismo. La densidad de los agregados es especialmente importante para los casos en que se busca diseñar concretos de bajo o alto peso unitario.

Las bajas densidades indican también que el material es poroso y débil y de alta absorción.

Porosidad

La palabra porosidad viene de poro que significa espacio no ocupado por materia sólida en la partícula de agregado es una de las más importantes propiedades del agregado por su influencia en las otras propiedades de éste, puede influir en la estabilidad química,

resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, propiedades elásticas, gravedad específica, absorción y permeabilidad.

Peso unitario

Es el resultado de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas influye la forma de acomodo de estos. El procedimiento para su determinación se encuentra normalizado en ASTM C 29 y NTP 400.017. Es un valor útil sobre todo para hacer las transformaciones de pesos a volúmenes y viceversa. Por ejemplo, para un agregado grueso pesos unitarios altos significan que quedan muy pocos huecos por llenar con arena y cemento.

Porcentaje de vacíos

Es la medida de volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados, depende del acomodo de las partículas por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario. Se evalúa usando la siguiente expresión recomendada por ASTM C 29.

$$\% \text{ vacíos} = \frac{(SxW - P.U.C.)}{SxW} \times 100$$

Donde:

S = Peso específico de masa

W = Densidad del agua

P.U.C. = Peso Unitario Compactado seco del agregado

Humedad

Es la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla se expresa de la siguiente forma:

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{Peso natural} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

2.3.3.4.2. Propiedades resistentes

Resistencia

La resistencia de los agregados depende de su composición textura y estructura y la resistencia del concreto no puede ser mayor que el de los agregados; Si los granos de los agregados no están bien cementados unos a otros consecuentemente serán débiles. La resistencia al chancado o compresión del agregado deberá ser tal que permita la resistencia total de la matriz cementante. La norma británica establece un método para medir la resistencia a la compresión de los agregados utilizando cilindros de 25.4mm de diámetro y altura.

Tenacidad

Esta característica está asociada con la resistencia al impacto del material. Está directamente relacionada con la flexión, angularidad y textura del material.

Dureza

Se define como dureza de un agregado a su resistencia a la erosión abrasión o en general al desgaste. La dureza de las partículas depende de sus constituyentes.

Entre las rocas a emplear en concretos éstas deben ser resistentes a procesos de abrasión o erosión y pueden ser el cuarzo, la cuarcita, las rocas densas de origen volcánico y las rocas silicosas.

Módulo de elasticidad

Es definido como el cambio de esfuerzos con respecto a la deformación elástica, considerándosele como una medida de la resistencia del material a las deformaciones.

El módulo elástico se determina en muy inusual su determinación en los agregados sin embargo el concreto experimentara deformaciones por lo que es razonable intuir que los agregados también deben tener elasticidades acordes al tipo de concreto. El valor del módulo de elasticidad además influye en el escurrimiento plástico y las contracciones que puedan presentarse.

Tabla 4*Valores de módulos elásticos*

Tipo de agregado	Módulo Elástico
Granitos	61000 kg/cm ²
Areniscas	31000 kg/cm ²
Calizas	28000 kg/cm ²
Diabasas	86000 kg/cm ²
Gabro	86000 kg/cm ²

Fuente: Torre, A.

2.3.3.4.3. Propiedades térmicas

Coefficiente de expansión

Cuantifica la capacidad de aumento de dimensiones de los agregados en función de la temperatura, depende mucho de la composición y estructura interna de las rocas y varía significativamente entre los diversos tipos de roca.

En los agregados secos es alrededor de un 10% mayor que en estado parcialmente saturado. Los valores oscilan normalmente entre 0.9×10^{-6} a $8.9 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$.

Calor específico

Es la cantidad de calor necesaria para incrementar en un grado centígrado la temperatura. No varía mucho en los diversos tipos de roca salvo en el caso de agregados muy ligeros y porosos.

Conductividad térmica

Es la mayor o menor facilidad para conducir el calor. Está influenciada básicamente por la porosidad siendo su rango de variación relativamente estrecho. Los valores usuales en los agregados son de 1.1 a 2.7 BTU/ pie.hr. °F.

Difusividad

Representa la velocidad con que se pueden producir cambios térmicos dentro de una masa. Se expresa como el cociente de dividir la conductividad entre el producto de calor específico por la densidad.

2.3.3.4.4. Propiedades químicas

Reacción álcali-sílice

Los álcalis en el cemento están constituidos por el Óxido de sodio y de potasio quienes en condiciones de temperatura y humedad pueden reaccionar con ciertos minerales, produciendo un gel expansivo Normalmente para que se produzca esta reacción es necesario contenidos de álcalis del orden del 0.6% temperaturas ambientes de 30°C y humedades relativas de 80% y un tiempo de 5 años para que se evidencie la reacción.

Existen pruebas de laboratorio para evaluar estas reacciones que se encuentran definidas en ASTM C227, ASTM C289, ASTM C-295 y que permiten obtener información para calificar la reactividad del agregado.

Reacción álcali-carbonatos

Se produce por reacción de los carbonatos presentes en los agregados generando sustancias expansivas, en el Perú no existen evidencias de este tipo de reacción.

Los procedimientos para la evaluación de esta característica se encuentran normalizados en ASTM C-586.

2.3.3.5. Criterios a tener en cuenta

2.3.3.5.1. Canteras

En algunos casos corresponderá al contratista la ubicación y selección de las canteras de agregados disponibles en la zona, esta deberá incluir estudios geológicos, petrográficos, composición mineral del material propiedades físicas, resistentes, costo de operación, rendimiento, potencialidad, accesibilidad etc. Estas canteras seleccionadas deberán ser aprobadas por la inspección previa presentación de certificados de ensayos en laboratorio.

En la búsqueda y selección de la cantera el ingeniero debe tener en cuenta sobre la ubicación, cantidad de agregado requerido el tamaño máximo a ser empleado y las características generales de construcción, asimismo debe estar informado sobre los efectos que sobre las propiedades del concreto tienen la granulometría, las características físicas y la composición del agregado.

El laboratorio seleccionado para la evaluación de las propiedades de los agregados deberá contar con equipos calibrados, y conocer de los procedimientos normalizados.

La selección y aprobación final de la cantera será hecha por el inspector previa presentación por el contratista de los certificados de un Laboratorio Oficial.

Mediante el estudio cuidadoso y selección adecuada de las canteras a ser utilizadas, el proyectista podrá conocer que agregados existen o pueden ser disponibles en la zona de trabajo y la conveniencia o no de su utilización.

2.3.3.5.2. Especificaciones para la compra

Se incluirá la información necesaria en la orden de compra en la medida que sea conveniente:

Incluir las Normas correspondientes.

Referir si la orden de compra es para agregado grueso, fino u hormigón.

Cantidad en Toneladas o metros cúbicos.

Si la orden es para agregado fino:

La especificación granulométrica.

Restricciones para los materiales reactivos.

El límite para el material que pasa la malla N° 200, sino se indica deberá ser 3%.

El límite para carbón y lignito, sino se indica se deberá aplicar máximo el 1%.

Si la orden es para agregado grueso:

La granulometría y el huso.

Restricciones sobre material reactivo.

Sino no se especifica acerca de la inalterabilidad del agregado cualquiera podrá ser empleada.

El peso deberá ser determinado incluyendo la humedad al momento del transporte no se deberá añadir agua al momento de la carga.

2.3.3.5.3. Especificaciones técnicas de los agregados

Los agregados a utilizar en la obra deberán cumplir las especificaciones técnicas que aseguren la calidad final de la obra. Aquellos agregados que no cumplan algunos requisitos podrán ser empleados siempre que se demuestre con pruebas de laboratorio o experiencia en obra que se pueden producir concretos de la calidad especificada.

Los requisitos que deben cumplir los agregados para uso en concreto se encuentran estipulados en ASTM C33 así como en NTP 400.037.

Los agregados que van estar sometidos a humedecimiento, exposición prolongada a atmósferas húmedas, o en contacto con suelos húmedos no deberán tener ningún material que sea potencialmente reactivo con los álcalis del cemento a fin de evitar expansiones.

El ensayo de estabilidad de volumen se recomienda para agregados que van a ser empleados en concretos sometidos a procesos de congelación y deshielo. Aquellos agregados que no pasen esta prueba podrán ser usados sólo demostrando que un concreto de características similares en la zona tiene un registro de servicio satisfactorio en esas condiciones de intemperismo.

Asimismo, es necesario utilizar agregados con contenido de sales solubles totales en porcentajes menores del 0.015% en peso del cemento.

Respecto al agregado fino

Debe estar compuesto de partículas limpias de perfil angular duras y compactas libre de materia orgánica u otras sustancias dañinas.

Debe estar graduado dentro de los límites dados en los requisitos obligatorios.

El módulo de fineza debe estar entre 2.3 a 3.1

Deberá estar libre de materia orgánica, que es determinado mediante el ensayo indicado en ASTM C 40, si no cumple con esta especificación puede ser utilizado siempre que realizado el ensayo de compresión a los 7 días de morteros preparados con arena sana y otros con la arena en cuestión la resistencia no sea menor del 95%.

Respecto al agregado grueso

Estará conformado de fragmentos cuyos perfiles sean preferentemente angulares o semiangulares, limpios, duros, compactos, resistentes y de texturas preferentemente rugosas y libres de material escamoso o partículas blandas.

La resistencia a la compresión del agregado no será menor de 600 kg/cm².

Estará graduado dentro de los límites especificados en la tabla de requisitos obligatorios.

El tamaño máximo del agregado a tomar será:

1/5 de la menor dimensión entre caras de encofrados.

1/3 de la altura de las losas.

3/4 del espacio libre mínimo entre varillas individuales de refuerzo.

Para el caso de ser necesario el lavado del material este debe hacerse con agua libre de materia orgánica, sales o sólidos en suspensión.

Respecto al Hormigón

Es una mezcla natural en proporciones arbitrarias de agregados fino y grueso, deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas blandas o escamosas sales, álcalis materia orgánica u otras sustancias dañinas para el concreto.

El hormigón podrá emplearse en concretos simples o armados de resistencias en compresión de hasta 140 kg/cm² a los 28 días y el contenido mínimo de cemento será de 255 Kg/m³.

El hormigón será transportado y almacenado tal que se garantice la no contaminación con materiales que podrían reaccionar con el cemento generando cambios de comportamiento.

2.3.3.5.4. Transporte.

Durante el transporte del material se deberá garantizar:

La pérdida de finos será mínima.

Mantener la uniformidad.

No se producirá contaminación con sustancias extrañas.

No se producirá rotura o segregación importante en ellos.

2.3.3.5.5. Contaminación

La mayoría de los agregados presentan algún grado de contaminación, los elementos perjudiciales a tener en cuenta son las partículas muy finas que exigirán agua en exceso en la mezcla, las partículas débiles o inestables que actúan sobre la hidratación del cemento, excesos en estas características pueden ser eliminados mediante procesos de lavado.

2.3.3.5.6. Almacenamiento en obra

El material que durante su almacenamiento en obra se deteriora o contamina no deberá emplearse en la preparación del concreto.

Los agregados se almacenarán o apilarán de manera de impedir la segregación de los mismos, su contaminación con otros materiales, o su mezclado con agregados de diferente granulometría o características. Para garantizar que esta condición se cumpla deberá realizarse ensayos, en el punto de dosificación, a fin de certificar la conformidad con los requisitos de limpieza y granulometría.

La zona de almacenamiento deberá ser lo suficientemente extensa y accesible para facilitar el acomodo y traslado del agregado al sitio de mezclado.

Las pilas de agregado se tomarán por capa horizontales de no más de un metro de espesor. Estas capas deberán tener facilidad para drenar o fin de obtener un contenido de humedad relativamente uniforme.

2.3.3.5.7. Ensayos de los materiales

La Inspección podrá ordenar, en cualquier etapa de la ejecución del proyecto, ensayos de certificación de la calidad de cualquiera de los materiales empleados.

El ensayo de los agregados para la capa de sub base deberá cumplir con los requisitos establecidos en la sección 402 del Manual de Carreteras Vigente: Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras EG - 2013. Los resultados de los ensayos se anotarán en el Registro anexo al Cuaderno de Obras; debiendo estar una copia a disposición de la Inspección hasta la finalización de la obra. Los resultados de los ensayos forman parte de los documentos entregados al propietario con el Acta de Recepción de Obra”.

2.3.3.6. La Forma de los agregados

Montenegro, J. (2011) *Influencia de los Agregados en el Concreto*. Abril 12, 2017, de Civilgeeks Sitio web: <http://civilgeeks.com/2011/10/04/influencia-de-la-forma-de-los-agregados-en-el-concreto/>.

Dice: “La forma de los agregados incide en el comportamiento del concreto. La experiencia ha demostrado que aquellos que presentan formas que se acercan a la del cubo, entre los triturados, y a la esfera en el caso de los rodados ofrecen mejor trabajabilidad y en alguna medida mayor durabilidad que aquellos de forma aplanada o alargada.

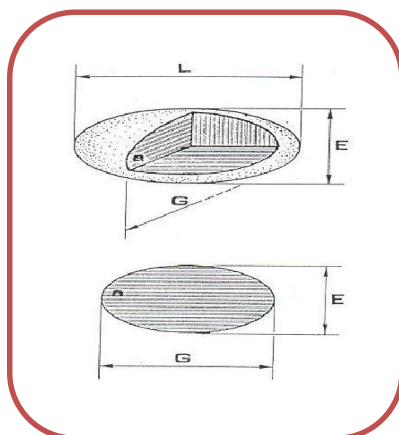


Figura 11: Forma de los agregados (Fuente: <http://civilgeeks.com/2011/10/04/influencia-de-la-forma-de-los-agregados-en-el-concreto/>)

La forma de los agregados está condicionada por la estratificación de las rocas en el yacimiento, el plano de clivaje y la corrección del proceso de trituración cuando es el caso.

La menor trabajabilidad del concreto con agregados aplanados o alargados, se encuentra en la mayor superficie con relación al volumen, que origina mayor frotamiento interno. Asimismo, en las dificultades para su colocación en el pastón.

La forma de los elementos granulares está definida por tres dimensiones, la longitud "L", el grosor "G", y el espesor "E", de manera:

$$L > G > E$$

Como quiera que la determinación de la forma de los agregados por la medida con un vernier de sus tres dimensiones predominantes, es un proceso largo y tedioso, raramente se efectúa en la práctica. La normalización internacional ha considerado diferentes sistemas de evaluación, por métodos rápidos y prácticos. La norma peruana de requisitos de agregados considera el índice de espesor, que expresa la relación G/E.

El factor "G" es determinado por el paso de los agregados por una parrilla, de barras redondas paralelas, que separa los elementos inconvenientes cuando la relación es mayor que 1.58. Los agregados son separados por la parrilla, en la luz libre entre barras establece una relación G/1.58 que viene a significar el salto de una dimensión de la serie (grafico 05).

$$10 \sqrt{10} \text{ cuando pasa de } G \text{ a } G/1.58$$

En la norma peruana el índice de espesor se encuentra dentro los requisitos complementarios, que son de aplicación al agregado utilizado en los concretos de alta resistencia 210 kg/cm² y mayores.

En estos casos el índice de espesor del agregado grueso no será mayor de 50 cuando se trata de agregado natural y de 35 para grava triturada".

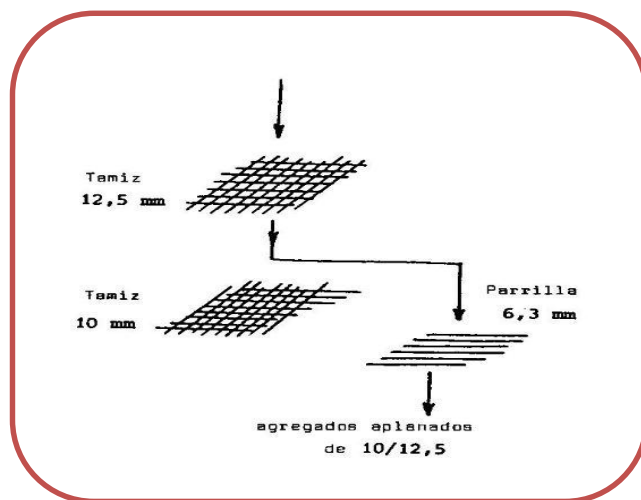


Figura 12: Espesor de agregados (Fuente: <http://civilgeeks.com/2011/10/04/influencia-de-la-forma-de-los-agregados-en-el-concreto/>)

2.3.3.7. El Muestreo de los agregados

Mar del Sol (2012) *El Muestreo de los Agregados*. Abril 12, 2017, de Ingemanía-peru.blogspot Sitio web: <http://ingemanía-peru.blogspot.pe/2012/10/el-muestreo-de-los-agregados.html>.

Dice:

2.3.3.7.1. Propósito del muestreo.

La toma de muestras de los agregados constituye una operación fundamental en el proceso de control de calidad de la producción del concreto. El muestreo puede producirse en el yacimiento, en la planta de beneficio o al pie de obra, según su razón de ser.

En algunos trabajos de construcción alejados de los centros urbanos, ante la carencia de proveedores, se requiere desarrollar la explotación, eventual de yacimientos. En estos casos, para seleccionar las canteras más apropiadas, determinar la potencia aprovechable y orientar los procedimientos de beneficio, se toman muestras de hoyos formados sobre los frentes descubiertos, luego de eliminar el material superficial o el proveniente de deslizamientos. Cuando no existe frente abierto, las muestras se extraen excavando hoyos o calicatas, en profundidad y distancia definidas, de acuerdo con el volumen de material requerido.

Cuando se requiere conocer la calidad de un producto que se ofrece en el mercado, se procede a la toma de muestras en la planta de producción. Se recomienda extraer las muestras de manera intermitente mientras se carga el material a los vehículos. De no ser posible, se puede obtener muestras separadas de los silos, tomándolas de la parte superior y de la boca de descarga.

En los procedimientos de muestreo en obra, para el control directo de la producción del concreto, se toman muestras durante la descarga de los vehículos de transporte, actuando separadamente sobre la parte superior, media e inferior de la tolva.

Las exigencias del muestreo son más amplias cuando se necesita evaluar un yacimiento o dar conformidad al material beneficiado por un proveedor. En la producción diaria del concreto, el número de ensayos que se efectúa es más reducido y de variable periodicidad, la que muchas veces se regula según las modificaciones del material que se observan durante la inspección. Las pruebas de rutina están destinadas a dar información sobre problemas potenciales en el proceso de control de calidad.

En las plantas de producción de concreto, las muestras se toman por lotes en cada turno de operación de la planta, en las tolvas de pasaje.

2.3.3.7.2. Tipo de Muestra.

Cuando la inspección indica diferencias sustantivas en los materiales, en tamaño, textura o color (lo que ocurre generalmente en el yacimiento), deberá ensayarse independientemente cada una de las muestras que se obtengan, las que se denominan "muestras representativas simples".

Cuando no se observa diferencias en el material, las muestras simples se mezclan debidamente de manera que representen la condición media del agregado, denominándose "muestra representativa compuesta".

Para su envío a laboratorio, las muestras representativas pueden reducirse hasta llegar al volumen mínimo adecuado, según los requerimientos de ensayo. Las muestras representativas no deberán ser menores de 25 kg en el caso de la arena y 70 kg en el caso del agregado grueso.

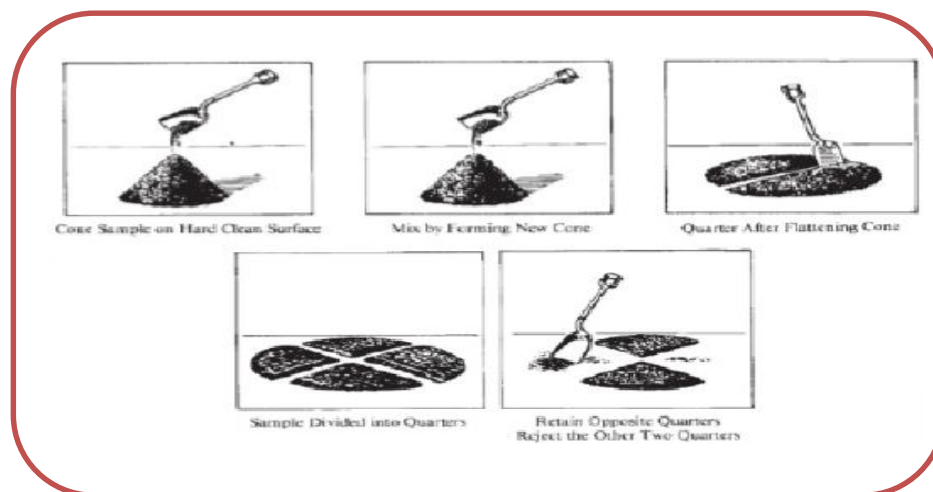


Figura 13: Muestreo de los agregados (Fuente: <http://ingemania-peru.blogspot.pe/2012/10/el-muestreo-de-los-agregados.html>).

Para la formación de muestras para laboratorio, se procederá como lo indica la gráfica N° 06. Con la muestra representativa se forma un montón que se extiende con una pala hasta darle base circular y espesor uniforme. Se divide entonces el material, diametralmente, en 4 partes aproximadamente iguales. Se toman 2 partes opuestas, se mezclan y se recomienza la operación con ese material. Esta operación se repetirá hasta que la cantidad de muestras quede reducida a la que se requiera en cada caso.

2.3.4. Materiales para Pavimentos

Dirección general de caminos y ferrocarriles (2013) *Materiales para Pavimentos de la Sub Base Granular*. En Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos (pp.131-132). Perú: MTC.

“Todos los materiales deberán cumplir los requerimientos de las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras EG – 2013 del MTC, no obstante, cuando en un determinado proyecto de pavimentación se requiera especificaciones nuevas concordantes en el estudio o que amplíen, complementen o reemplacen a las especificaciones generales, el autor del proyecto o el ingeniero responsable de suelos y pavimentos deberá emitir las especificaciones especiales para ese proyecto y solo será aplicable para su ejecución.

El material granular para la capa de Sub Base deberá cumplir los requisitos mínimos establecidos en la Sección 402 de las Especificaciones Técnicas Generales para la

Construcción de Carreteras EG - 2013. Asimismo, se deben cumplir los requisitos de equipos, requerimientos de construcción, control de calidad, aceptación de los trabajos y las consideraciones de CBR mencionadas en este manual para el diseño del pavimento, y que según el caso deberá estar precisado en las Especificaciones del proyecto”.

Tabla 5

Valor Relativo de Soporte, CBR en Sub Base Granular ()*
(MTC E 132, NTP 339. 145 1999)

CBR en Sub Base Granular	Mínimo 40%
--------------------------	------------

Fuente: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles - MTC.

(*) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de 0.1” (2.5 mm).

2.3.4.1. Muestreo de suelos y rocas

Dirección general de caminos y ferrocarriles (2016) MTC E 101 Muestreo de Suelos y Rocas. En Manual de Ensayo de Materiales (pp.14-16). Perú: MTC.

Dice: “Es el muestreo e investigación de suelos y rocas con base en procedimientos normales, mediante los cuales deben determinarse las condiciones de los suelos y rocas.

La finalidad y alcance es establecer los procedimientos adecuados de muestreo de suelos y rocas, que permitirán la correlación de los respectivos datos con las propiedades del suelo, tales como plasticidad, permeabilidad, peso unitario, compresibilidad, resistencia y gradación; y de la roca, tales como resistencia, estratigrafía, estructura y morfología.

2.3.4.1.1. Muestra.

Deben obtenerse muestras representativas de suelo o roca, o de ambos, de cada material que sea necesario para la investigación. El tamaño y tipo de la muestra requerida, depende de los ensayos que se vayan a efectuar y del porcentaje de partículas gruesas en la muestra, y las limitaciones del equipo de ensayo a ser usado.

Nota 1. El tamaño de las muestras alteradas, en bruto, puede variar a criterio del responsable de la investigación, pero se sugiere las siguientes cantidades:

Clasificación visual: 0,50 kg – 50 – 500 g.

Análisis granulométrico y constantes de suelos no granulares: 0,50 a 2,5 kg.

Ensayo de compactación y granulometría de suelo-agregado granular: 20 - 40 kg.

Producción de agregados o ensayo de propiedades de agregados: 50 - 200 kg.

Debe identificarse cuidadosamente cada muestra con la respectiva perforación o calicata y con la profundidad a la cual fue tomada. Colóquese una identificación dentro del recipiente o bolsa, ciérrese en forma segura, protéjase del manejo rudo y márquese exteriormente con una identificación apropiada. Guárdense muestras para la determinación de la humedad natural en recipientes de cierre hermético para evitar pérdidas de la misma. Cuando el secado de muestras puede afectar la clasificación y los resultados de los ensayos, las muestras deben ser protegidas para la pérdida de humedad.

Deberá tomarse muestras de suelo y agua para determinar la acidez, el pH y el contenido de compuestos metálicos del material, cuando pueda esperarse que causen un cambio inaceptable en su medio ambiente. El tamaño de la muestra no deberá ser menor de 2,5 kg.

2.3.4.1.2. Clasificación del material.

Las muestras para ensayos de suelos y rocas deberán enviarse al laboratorio para los ensayos de clasificación física y mecánica respectiva, de acuerdo con las instrucciones del especialista geotécnico.

Las muestras para materiales granulares a utilizarse en capas de base y sub base, deben provenir de materiales procesados en planta o laboratorio, y servirán como mínimo para los siguientes ensayos:

Análisis granulométrico por tamizado: ASTM D-422, MTC E 107.

Determinación del límite líquido: ASTM D-4318, MTC E 110.

Determinación del límite plástico: ASTM D-4318, MTC E 111.

Humedad natural: ASTM D-2216, NTP 339.127, MTC E 108.

Gravedad específica y absorción de agregados finos: ASTM D-854, MTC E 205.

Abrasión en la máquina de Los Ángeles: ASTM C-131, NTP 400.019, MTC E 207.

Determinación de equivalente de arena: ASTM D-2419, MTC E 114.

Material que pasa la Malla N° 200: ASTM C-117, NTP 400.018, MTC E202.

Proctor Modificado: ASTM D-1557, MTC-E115.

CBR sobre muestras compactadas: ASTM D-1883, MTC E 132.

Porcentaje de partículas livianas: ASTM D-693, MTC E 211 (opcional).

Porcentaje de caras fracturadas en los agregados: ASTM D-5821, MTC E 210.

Durabilidad en sulfato de sodio y en sulfato de magnesio: ASTM D-422, MTC E 209.

Contenido de Sales Totales: MTC E 219.

Los ensayos deben ser ejecutados en laboratorios competentes que cuenten con:

Personal calificado.

Instalaciones que faciliten la correcta ejecución de los ensayos.

Métodos y procedimientos apropiados para la realización de los ensayos, siguiendo las Normas de Ensayos del MTC o normas internacionales como ASTM o AASHTO, incluyendo técnicas estadísticas para el análisis de los datos de ensayo.

Equipos debidamente calibrados, que garanticen la exactitud o validez de los resultados de los ensayos. Antes del inicio de los ensayos o de la puesta en servicio el proveedor debe presentar los respectivos certificados de calibración de sus equipos, emitidos por Laboratorios de Calibración acreditados.

Aseguramiento de calidad de los resultados de los ensayos.

Informe de resultados de cada ensayo, presentado en forma de informe de ensayo o certificado de ensayo, que exprese el resultado de manera exacta, clara, sin ambigüedades y objetivamente, de acuerdo con las instrucciones específicas de los métodos de ensayo”.

2.3.4.2. Sub Bases Granulares

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (2013) *Sección 402 Sub Bases Granulares*. En Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG 2013 (pp.367-369). Perú: MTC.

Dice: “Este trabajo consiste en la construcción de una o más capas de materiales granulares, que pueden ser obtenidos en forma natural o procesados, debidamente aprobados, que se colocan sobre una superficie preparada. Los materiales aprobados son provenientes de canteras u otras fuentes. Incluye el suministro, transporte, colocación y compactación del material, de conformidad con los alineamientos, pendientes y dimensiones indicados en los planos del Proyecto y aprobados por el Supervisor, y teniendo en cuenta lo establecido en el Plan de Manejo Ambiental.

2.3.4.2.1. Materiales.

Para la construcción de afirmados y sub bases granulares, los materiales serán agregados naturales procedentes de excedentes de excavaciones o canteras clasificados y aprobados por el Supervisor o podrán provenir de la trituración de rocas y gravas, o podrán estar constituidos por una mezcla de productos de ambas procedencias.

Los materiales para base granular solo provendrán de canteras autorizadas y será obligatorio el empleo de un agregado que contenga una fracción producto de trituración mecánica.

En ambos casos, las partículas de los agregados serán duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, blandas o desintegrables y sin materia orgánica, terrones de arcilla u otras sustancias perjudiciales. Sus condiciones de limpieza dependerán del uso que se vaya a dar al material.

Los requisitos de calidad que deben cumplir los diferentes materiales y los requisitos granulométricos se presentan en la especificación respectiva.

Para el traslado del material para conformar sub bases y bases al lugar de obra, se deberá humedecer adecuadamente los materiales y cubrirlos con una lona para evitar emisiones de material particulado, a fin de evitar que afecte a los trabajadores y poblaciones aledañas de males alérgicos, respiratorios y oculares.

Los montículos de material almacenados temporalmente en las canteras y plantas se cubrirán con lonas impermeables, para evitar el arrastre de partículas a la atmósfera y a cuerpos de agua cercanos y protegerlos de excesiva humedad cuando llueve.

Además, deberán ajustarse a una de las franjas granulométricas indicadas en la siguiente tabla:

Tabla 6

Requisitos granulométricos para sub base granular

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradacion A (1)	Gradacion B	Gradacion C	Gradacion D
50 mm. (2")	100	100	-	-
25 mm. (1")	-	75-95	100	100
9,5 mm. (3/8")	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm. (Nº 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm. (Nº 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 um. (Nº 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 um. (Nº 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Fuente: ASTM D 1241.

Notas:

(1): La curva de Gradación "A" deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm.

Además, el material también deberá cumplir con los requisitos de calidad, indicados en la siguiente tabla:

Tabla 7

Requerimientos de ensayos especiales para sub base granular

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	50% máx.	50% máx.
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40% máx.	40% máx.
Limite Liquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25% máx.	25% máx.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	6% máx.	4% máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25% máx.	35% máx.
Sales Solubles	MTC E 219	-	-	1% máx.	1% máx.
Partículas chatas y Alargadas	-	D 4791	-	20% máx.	20% máx.

Fuente: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles - MTC.

(1): Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0.1” (2.5 mm).

(2): La relación a emplearse para la determinación es 1/3 (espesor/longitud).

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el Contratista deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme y sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de un tamiz adyacente y viceversa”.

2.3.4.2.2. Aceptación de los trabajos

Dirección general de caminos y ferrocarriles (2016) Bases Granulares, Aceptación de los Trabajos. En Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG 2013. (p.381). Perú: MTC.

Dice: “De cada procedencia de los materiales y para cualquier volumen previsto se tomarán cuatro muestras para los ensayos y frecuencias que se indican en la siguiente tabla:

Tabla 8

Ensayos y Frecuencias

Material o producto	Propiedades y Características	Metodo de ensayo	Norma ASTM	Norma AASHTO	Frecuencia (1)	Lugar de Muestreo
Base Granular	Granulometria	MTC E 204	C 136	T 27	750 m3	Cantera (2)
	Limite liquido	MTC E 110	D 4318	T 89	750 m3	Cantera (2)
	Indice de plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	750 m3	Cantera (2)
	Abrasion Los Angeles	MTC E 207	C 131	T 96	2.000 m3	Cantera (2)
	Equivalente de arena	MTC E 114	D 2419	T 176	2.000 m3	Cantera (2)
	Sales solubles	MTC E 219			2.000 m3	Cantera (2)
	CBR	MTC E 132	D 1883	T 193	2.000 m3	Cantera (2)
	Particulas fracturadas	MTC E 210	D 5821		2.000 m3	Cantera (2)
	Particulas chatas y alargadas		D 4791		2.000 m3	Cantera (2)
	Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	C 88	T 104	2.000 m3	Cantera (2)
	Densidad y Humedad	MTC E 115	D 1557	T 180	750 m3	Pista
	Compactacion	MTC E 117	D 4718	T 191	750 m3	Pista
		MTC E 124	D 2922	T 238		

Fuente: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles - MTC.

Notas:

(1): O antes, si por su génesis, existe variación estratigráfica horizontal y vertical que originen cambios en las propiedades físico-mecánicas de los agregados. En caso de que los metrados del Proyecto no alcancen las frecuencias mínimas especificadas se exigirá como mínimo un ensayo de cada propiedad y /o característica.

(2): Material preparado previo a su uso”.

2.3.5. Módulo de Resiliente

Herrera, M. (2014) *Metodologías de Diseño de Pavimentos*. En Determinación del Módulo Resiliente de Diseño de Pavimentos mediante Criterios ASSHTO 1993 y 2002 (pp.16-17). Lima: Maestría Universidad de Piura.

Dice:

2.3.5.1. Metodología Empírica.

Correlaciona el comportamiento de los pavimentos “in situ”, a través de observaciones y mediciones de campo con los factores que causan los mecanismos de degradación de la estructura. Los factores más importantes son: las cargas: impuestas por el tránsito, las condiciones ambientales, como temperatura y precipitación a las cuales se encuentra sometida la estructura; el tipo de suelo o terreno de fundación (subrasante) y la calidad de los materiales.

Como se mencionó anteriormente la metodología empírica constituye el fundamento teórico de la “Guía de Diseño AASHTO 93”, documento básico utilizado actualmente para el análisis y diseño de pavimentos en el Perú, el cual se ha desarrollado en base a correlaciones obtenidas del ensayo vial AASHO.

El Proyecto AASHO desarrollado entre los años 1958 y 1960 consistió en la construcción de una cantidad limitada de secciones estructurales con el objeto de ser sometidas a diferentes factores climáticos y de carga, para finalmente evaluar su deterioro y establecer correlaciones a través de modelos estadísticos.

2.3.5.2. Determinación del Módulo Resiliente de acuerdo a AASHTO 93.

2.3.5.2.1. Alcances.

El módulo resiliente es el parámetro utilizado con el fin de representar las propiedades de los suelos de la subrasante en el diseño de pavimentos flexibles.

Para determinarlo, la guía recomienda realizar el ensayo AASHTO T274 [82] sobre una muestra representativa, la cual estará sometida a una carga de duración definida bajo determinadas condiciones de esfuerzo y humedad.

Normalmente resulta complicado realizar el ensayo de módulo resiliente puesto que se requiere de un equipo de laboratorio especial, el cual está constituido por una cámara triaxial para ensayos cíclicos, un marco de carga con un actuador dinámico servo controlado que nos sirve para producir una onda senosoidal media en un período y frecuencia determinados; un panel de control y de mediciones de presiones de cámara, de poros y efectiva, y una unidad de adquisición de datos con software de procesamiento. En este sentido, la “Guía de diseño AASTHO 93” ha propuesto correlaciones que determinan el mantenimiento rutinario (MR) a partir de ensayos de CBR.

A continuación, se indican las principales:

Correlación establecida por: aplicable a suelos finos con CBR saturado menor a 10%.

$$M_R(psi) = 1500 \times CBR$$

Correlación establecida por el Instituto del Asfalto

$$M_R(psi) = A + B \times CBR$$

Donde:

$$A = \text{De } 772 \text{ a } 1155$$

$$B = \text{De } 369 \text{ a } 555$$

Para suelos finos con CBR saturado menor a 20%, la guía recomienda utilizar la siguiente expresión:

$$M_R(psi) = 1000 + 500 \times CBR$$

Expresión general en la “Guía AASHTO 2002”:

$$M_R(psi) = 2555 \times CBR^{0.65}$$

2.4. Hipótesis

Para el desarrollo de este proyecto de investigación nos plantearemos la siguiente Hipótesis:
“Se podrá utilizar los agregados del Rio Cumbaza en la construcción de capas de Sub Base de pavimentos flexibles en la ciudad de Tarapoto”.

2.5. Sistema de variables

Variables:

Independiente : Características físico mecánicas de los agregados para pavimentos flexibles que establece La Norma de Carreteras EG-2013.

Dependiente : Los agregados del Rio Cumbaza.

Interviniente : Resultado de los ensayos de los agregados del Rio Cumbaza.

2.6. Objetivos

2.6.1. Objetivo General

Realizar el estudio de los agregados del Rio Cumbaza para la construcción de capas de sub base de pavimentos flexibles en la ciudad de Tarapoto.

2.6.2. Objetivo Específico

Determinación del desgaste de los agregados.

Determinación de los límites de consistencia.

Realizar el CBR de los agregados, para determinar el Módulo Resiliente.

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Población y Muestra

3.1.1. Población

La población en forma general está conformada por todas las **Unidades de Análisis** posibles de material agregado para la utilización en Sub Bases de pavimentos flexibles existentes en la cinco (05) canteras del río Cumbaza:

Cantera Juan Guerra.

Cantera Tres de Octubre.

Cantera Santa Rosa de Cumbaza.

Cantera San Juan de Cumbaza.

Cantera Diez de Agosto.

Incluidos en el ámbito geográfico del estudio; consideramos que en forma lógica se tendría infinitas **Unidades de Análisis** en la presente investigación, es decir, una población infinita.

3.1.2. Muestra

La muestra para el presente estudio de investigación, se obtendrá efectuando un muestreo polietápico, en donde las **Unidades de Análisis** que finalmente componen la muestra se determinan en **etapas** sucesivas. En la primera etapa **las Unidades Primarias de Muestreo** son las canteras (conglomerados):

Cantera Juan Guerra.

Cantera Tres de Octubre.

Cantera Santa Rosa de Cumbaza.

Cantera San Juan de Cumbaza.

Cantera Diez de Agosto.

Es aquí que mediante muestreo aleatorio salieron las canteras (conglomerados):

Cantera Juan Guerra.

Cantera Tres de Octubre.

Cantera Santa Rosa de Cumbaza.

Las **Unidades Secundarias de Muestreo** son las Muestras (conglomerados) escogidas mediante la su distribución física dentro de una Hectárea de terreno y en base a distancias proporcionales, extrayéndose una proporción (saco) de material agregado de 100 kg en cada una de ellas; finalmente la 9 **Unidades de Análisis** de cada proporción (saco) según cuotas consideradas suficientes para determinar los análisis de cada característica de los agregados planteados en la presente investigación y que son catorce (14), contando por lo tanto con una muestra final de **126 Unidades de Análisis**.

3.2. **Ámbito Geográfico**

3.2.1. **Ubicación Geográfica**

La investigación fue realizado en la facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín, que se encuentra ubicado en el Distrito de Morales, Provincia de San Martín, Departamento de San Martín – Perú. El Distrito de Morales, Provincia de San Martín (Región San Martín), se encuentra ubicado a 3 km al norte de Tarapoto, a $6^{\circ}36'15''$ de latitud sur y $76^{\circ}10'30''$ de longitud oeste.

3.2.2. **Altitud con Respecto al Mar**

El Distrito de Morales Tiene una altitud de 283 m.s.n.m.

3.3. **Diseño de la Investigación**

El diseño de la investigación que se realizó es del tipo DESCRIPTIVO - EXPLICATIVO; cuyo diseño es el siguiente:



Figura 14: Diseño de la Investigación (Fuente: Elaboración propia)

Donde:

A = Variable Independiente.

B = Variable Dependiente.

C = Variable Interviniente.

3.4. Procedimientos y Técnicas

3.4.1. Procedimientos

Para el desarrollo de la presente tesis se procedió de la siguiente manera:

1º.- Se identificó todas las canteras que existen en el río Cumbaza que pueden ser explotadas, de las cuales se obtuvo como resultado cinco canteras ya antes mencionadas, como se muestra en la siguiente imagen:



Figura 15: Vista Panorámica de localización de las 05 Canteras (Fuente: Google Earth.)

2º.- Mediante un muestreo aleatorio se obtuvo como resultado tres canteras ya antes mencionadas para ser analizadas en la presente tesis como se muestra en la siguiente imagen:

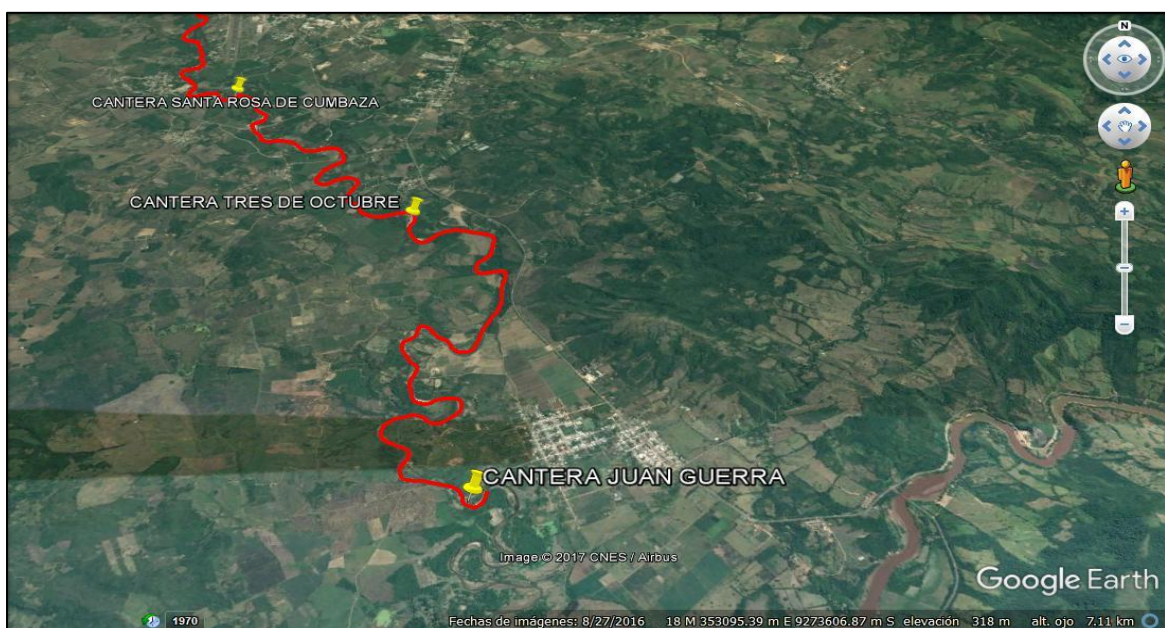


Figura 16: Vista Panorámica de localización de las 03 canteras seleccionadas (Fuente: Google Earth.)

3°.- Se extrajo muestras de los agregados de las tres canteras seleccionadas para posteriormente aplicar los Ensayos de Mecánica de Suelos de la Tesis que constan de:

Análisis granulométrico por tamizado.

Determinación del límite líquido.

Determinación del límite plástico.

Humedad natural.

Gravedad específica y absorción de agregados finos.

Abrasión en la máquina de Los Ángeles.

Determinación de equivalente de arena.

Material que pasa la Malla N° 200.

Proctor Modificado.

CBR sobre muestras compactadas.

Porcentaje de partículas livianas.

Porcentaje de caras fracturadas en los agregados.

Durabilidad en sulfato de sodio y en sulfato de magnesio Contenido de Sales Totales.

4°.- Procesamiento de la Información – Análisis de Datos

El procedimiento para el análisis de datos según el diseño de la investigación, se realizó teniendo en cuenta lo siguiente:

Una vez obtenido los resultados del estudio de mecánica de suelos, se procedió a comparar estos con los requisitos que se establece en el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG 2013 para que los agregados puedan ser utilizados como capa de sub base del pavimento flexible (Tabla 06 y Tabla 07).

Para el análisis e interpretación de datos se procederá de la siguiente manera:

Elaboración de cuadros comparativos.

Verificación de la hipótesis.

3.4.2. Técnicas

Para obtener los datos de los dominios de las variables consideradas, se ha necesitado recurrir a lo siguiente:

a) Análisis Documental: En la búsqueda de información se recurrió fuentes primarias, secundarias y terciarias como revistas indizadas, libros, tesis, búsqueda en sitios de internet y para la sistematización se utilizaron fichas resumen, fichas textuales y fichas bibliográficas,

b) La Estadística: Se utilizó con la finalidad de seleccionar solo tres de las cinco canteras que pueden ser explotadas en el río Cumbaza, a través de un muestreo aleatorio.

3.5. Instrumentos

3.5.1. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos utilizados para esta investigación son:

a) Fichas resumen, fichas textuales y fichas bibliográficas: Para la recopilación de citas textuales para la fundamentación de la propuesta. Los cuales fueron de gran utilidad para la formulación de los antecedentes del problema, antecedentes de la investigación y bases teóricas.

b) Cuadros comparativos: Se utilizaron para comparar los resultados obtenidos con los requisitos de la base teórica.

c) Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG 2013: Base teórica que permitió el desarrollo del proyecto, en la cual se rige el Ministerio de Transportes y Comunicaciones para la utilización de agregados como capa de sub base.

3.5.2. Instrumentos de procesamiento de datos

Con la ayuda de la estadística y los instrumentos anteriormente escritos. El procesamiento de los datos se realizó de la siguiente manera:

Tabla 9*Procesamiento de datos*

Grupo	Después de los EMS
Experimento	X1
Control	X2

Fuente: Elaboración Propia**Si:****X1:** Resultado de los Ensayos de Laboratorio.**X2:** Requerimiento de Ensayos para Sub Base Granular.

Para determinar los cambios en el grupo experimental se aplicó el siguiente análisis:

X1 ∈ X2

Lo que significa que los resultados de los ensayos de laboratorio de las muestras de las canteras en estudio deben estar dentro de los requerimientos de Ensayos para Sub Base granular del Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG 2013.

Por cada ensayo de materiales se realizó tres muestras y de estas se sacó un promedio y este resultado final era el utilizado para hacer la comparación con los requerimientos del Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG 2013. Los datos o resultados obtenidos se procesaron para dar respuesta al problema y a los objetivos del estudio. Para procesar estos datos se utilizó la siguiente herramienta estadística:

a) **La media aritmética** que permitió medir los resultados de los ensayos de materiales.

Media Aritmética

$$\bar{X} = \frac{\sum x_1}{n}$$

3.6. Prueba de Hipótesis

Con los resultados procesados y obtenidos según la Tabla N°09 (Procesamiento de datos) se obtuvo lo siguiente:

$X1 \neq X2$

Interpretación:

Los agregados ensayados de las canteras en estudio no cumplen con todos los requisitos para ser utilizados en sub base granular de un pavimento flexible. Por consiguiente, se concluye que la hipótesis es nula, es decir, que los agregados del río Cumbaza no podrán ser utilizados en la construcción de capas de Sub Base de Pavimentos Flexibles en la ciudad de Tarapoto, pero se puede dar otros usos como alternativa de solución que se explicara con mayor detalle en el capítulo VI Conclusiones y Recomendaciones.

CAPITULO IV

RESULTADOS

2.7. Determinación, Descripción y Características de las Canteras en Estudio.

Para la determinación de las canteras en estudio, se realizó un análisis estadístico de las canteras existentes en las riberas del río Cumbaza, de las cuales fueron seleccionadas tres canteras las mismas que ofrecen una mejor potencia y rendimiento adecuado; además el agregado grueso que se encuentran en estas canteras es generalmente globales combinadas por la naturaleza; es decir que cuentan con mejores condiciones para ser explotadas.

De acuerdo al método y secuencia realizada en la investigación se ha seleccionado las siguientes canteras:

Cantera Juan Guerra.

Cantera Tres de Octubre.

Cantera Santa Rosa de Cumbaza.

La descripción de canteras tiene una estructura que está conformada por la ubicación de la misma, los accesos que cuenta, así mismo el tipo de material que posee; el volumen estimado que se ha obtenido de los planos para cada cantera indicándose además el periodo de utilización y finalmente el método de explotación.

Las características físico mecánicas de las canteras se ha obtenido en base a los ensayos de laboratorio; efectuándose dichos ensayos en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional de San Martín.

Con los resultados obtenidos de los ensayos, se efectuaron la clasificación respectiva para cada cantera para luego compararlas con los requerimientos que deben cumplir los agregados para su uso en Sub Base en pavimentos flexibles; esto de acuerdo al Manual de Carreteras EG – 2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

2.7.1. Cantera Juan Guerra.

Ubicación: Se ubica a la altura del km 634 de la Carretera Tarapoto Juanjuí, dentro de la jurisdicción del distrito de Juan Guerra al margen izquierdo del río Cumbaza.

Acceso: Se accede mediante una carretera a nivel de afirmado a 2 km. aproximadamente (tomando como referencia la carretera Fernando Belaunde Terry), con habilitación hasta las orillas del río.

Deposito: La cantera es de tipo sedimentario, de origen fluvial – aluvial con extracción de materiales no consolidados (Agregados) casi toda la época del año.

Volumen: 9400 m³.

Periodo de utilización: Prácticamente todo el año, debido al régimen intermitente de avenidas.

Método de explotación: Su explotación por ser una cantera a cielo abierto es mecánica, empleándose maquinaria pesada para su extracción y transporte (cargador y volquetes). Su extracción varía según el clima (explotación directa en estiaje y limitada a las orillas en épocas de lluvia).

2.7.1.1. Resultados de Ensayos de Laboratorio – Muestra 01.

Características físicas

		Agregado grueso	Agregado fino
Peso específico	=	2.44 g/cm ³	2.57 g/cm ³
Absorción	=	1.63 %	2.26 %
Limite líquido	=		N.P.
Limite plástico	=		N.P.
Índice de plasticidad	=		N.P.
Humedad natural	=	3.70 %	5.76 %
Humedad natural (mezcla)	=		6.57 %
Gravedad específica	=		2.64 g/cm ³
Abrasión	=	78.0 %	
Equivalente de arena	=		26.0 %
Material fino (malla #200)	=		5.05 %
Proctor modificado	=		2.03 g/cm ³
O.C.H.	=		5.70 %
C.B.R. AL 100 %	=		55.0 %
C.B.R. AL 95 %	=		31.0 %
Partículas livianas	=		N.P.
Caras fracturadas (1 cara)	=		N.P.
Caras fracturadas (2 caras)	=		N.P.
Durabilidad sulf. de sodio	=	12.74 %	8.35 %
Contenido de sales solubles	=	0.190 %	0.226 %
Cont. de sales sol. (seco)	=		0.002 %

Clasificación

Clasificación AASHTO	=	A-1-a (0)
Clasificación SUCS	=	GP

2.7.1.2. Resultados de Ensayos de Laboratorio – Muestra 02.

Características físicas

		Agregado grueso	agregado fino
Peso específico	=	2.45 g/cm ³	2.56 g/cm ³
Absorción	=	1.55 %	2.25 %
Limite líquido	=		N.P.
Limite plástico	=		N.P.
Índice de plasticidad	=		N.P.
Humedad natural	=	3.80 %	5.90 %
Humedad natural (mezcla)	=		6.52 %
Gravedad específica	=		2.62 g/cm ³
Abrasión	=	77.9 %	
Equivalente de arena	=		26.0 %
Material fino (malla #200)	=		5.40 %
Proctor modificado	=		2.03 g/cm ³
O.C.H.	=		5.70 %
C.B.R. AL 100 %	=		55.0 %
C.B.R. AL 95 %	=		31.0 %
Partículas livianas	=		N.P.
Caras fracturadas (1 cara)	=		N.P.
Caras fracturadas (2 caras)	=		N.P.
Durabilidad sulf. de sodio	=	12.68 %	9.03 %
Contenido de sales solubles	=	0.190 %	0.228 %
Cont. de sales sol. (seco)	=		0.002 %

Clasificación

Clasificación AASHTO	=	A-1-a (0)
Clasificación SUCS	=	GP

2.7.1.3. Resultados de Ensayos de Laboratorio – Muestra 03.

Características físicas

		Agregado grueso	Agregado fino
Peso específico	=	2.44 g/cm ³	2.57 g/cm ³
Absorción	=	1.61 %	2.30 %
Limite liquido	=		N.P.
Limite plástico	=		N.P.
Índice de plasticidad	=		N.P.
Humedad natural	=	3.50 %	5.78 %
Humedad natural (mezcla)	=		6.57 %
Gravedad específica	=		2.63 g/cm ³
Abrasión	=	78.0 %	
Equivalente de arena	=		25.0 %
Material fino (malla #200)	=		5.50 %
Proctor modificado	=		2.03 g/cm ³
O.C.H.	=		5.70 %
C.B.R. AL 100 %	=		56.0 %
C.B.R. AL 95 %	=		31.0 %
Partículas livianas	=		N.P.
Caras fracturadas (1 cara)	=		N.P.
Caras fracturadas (2 caras)	=		N.P.
Durabilidad sulf. de sodio	=	12.95 %	8.32 %
Contenido de sales solubles	=	0.190 %	0.227 %
Cont. de sales sol. (seco)	=		0.002 %

Clasificación

Clasificación AASHTO	=	A-1-a (0)
Clasificación SUCS	=	GP

2.7.2. Cantera Tres de Octubre.

Ubicación: Se ubica a la altura del km 629 de la Carretera Tarapoto Juanjui, dentro de la jurisdicción del distrito de Juan Guerra al margen izquierdo del río Cumbaza.

Acceso: Se accede mediante una carretera a nivel de afirmado a 2.5 km. aproximadamente (tomando como referencia la carretera Fernando Belaunde Terry), con habilitación hasta las orillas del río.

Deposito: La cantera es de tipo sedimentario, de origen fluvial – aluvial con extracción de materiales no consolidados (Agregados) casi toda la época del año.

Volumen: 30225 m³.

Periodo de utilización: Prácticamente todo el año, debido al régimen intermitente de avenidas.

Método de explotación: Su explotación por ser una cantera a cielo abierto es mecánica, empleándose maquinaria pesada para su extracción y transporte (cargador y volquetes). Su extracción varía según el clima (explotación directa en estiaje y limitada a las orillas en épocas de lluvia).

2.7.2.1. Resultados de Ensayos de Laboratorio – Muestra 01.

Características físicas

		Agregado grueso	Agregado fino
Peso específico	=	2.44 g/cm ³	2.61 g/cm ³
Absorción	=	1.69 %	0.90 %
Limite líquido	=		N.P.
Limite plástico	=		N.P.
Índice de plasticidad	=		N.P.
Humedad natural	=	4.30 %	6.50 %
Humedad natural (mezcla)	=		6.43 %
Gravedad específica	=		2.62 g/cm ³
Abrasión	=	67.4 %	
Equivalente de arena	=		27.0 %
Material fino (malla #200)	=		3.75 %
Proctor modificado	=		2.06 g/cm ³
O.C.H.	=		5.50 %
C.B.R. AL 100 %	=		58.0 %
C.B.R. AL 95 %	=		34.0 %
Partículas livianas	=		N.P.
Caras fracturadas (1 cara)	=		N.P.
Caras fracturadas (2 caras)	=		N.P.
Durabilidad sulf. de sodio	=	14.60 %	6.46 %
Contenido de sales solubles	=	0.115 %	0.217 %
Cont. de sales sol. (seco)	=		0.0586 %

Clasificación

Clasificación AASHTO	=	A-1-a (0)
Clasificación SUCS	=	GP

2.7.2.2. Resultados de Ensayos de Laboratorio – Muestra 02.

Características físicas

		Agregado grueso	Agregado fino
Peso específico	=	2.44 g/cm ³	2.61 g/cm ³
Absorción	=	1.73 %	0.91 %
Límite líquido	=		N.P.
Límite plástico	=		N.P.
Índice de plasticidad	=		N.P.
Humedad natural	=	4.60 %	6.50 %
Humedad natural (mezcla)	=		6.46 %
Gravedad específica	=		2.63 g/cm ³
Abrasión	=	67.3 %	
Equivalente de arena	=		27.0 %
Material fino (malla #200)	=		3.60 %
Proctor modificado	=		2.062 g/cm ³
O.C.H.	=		5.55 %
C.B.R. AL 100 %	=		57.0 %
C.B.R. AL 95 %	=		33.5 %
Partículas livianas	=		N.P.
Caras fracturadas (1 cara)	=		N.P.
Caras fracturadas (2 caras)	=		N.P.
Durabilidad sulf. de sodio	=	14.55 %	8.62 %
Contenido de sales solubles	=	0.107 %	0.285 %
Cont. de sales sol. (seco)	=		0.0586 %

Clasificación

Clasificación AASHTO	=	A-1-a (0)
Clasificación SUCS	=	GP

2.7.2.3. Resultados de Ensayos de Laboratorio – Muestra 03.

Características físicas

		Agregado grueso	Agregado fino
Peso específico	=	2.43 g/cm ³	2.61 g/cm ³
Absorción	=	1.79 %	0.91 %
Límite líquido	=		N.P.
Límite plástico	=		N.P.
Índice de plasticidad	=		N.P.
Humedad natural	=	1.40 %	5.79 %
Humedad natural (mezcla)	=		6.35 %
Gravedad específica	=		2.61 g/cm ³
Abrasión	=	67.2 %	
Equivalente de arena	=		28.0 %
Material fino (malla #200)	=		3.40 %
Proctor modificado	=		2.063 g/cm ³
O.C.H.	=		5.80 %
C.B.R. AL 100 %	=		58.0 %
C.B.R. AL 95 %	=		33.5 %
Partículas livianas	=		N.P.
Caras fracturadas (1 cara)	=		N.P.
Caras fracturadas (2 caras)	=		N.P.
Durabilidad sulf. de sodio	=	14.10 %	8.42 %
Contenido de sales solubles	=	0.128 %	0.280 %
Cont. de sales sol. (seco)	=		0.0002 %

Clasificación

Clasificación AASHTO	=	A-1-a (0)
Clasificación SUCS	=	GP

2.7.3. Cantera Santa Rosa de Cumbaza.

Ubicación: Se ubica a la altura del km 8.5 de la Carretera Nueva Vía de Evitamiento, dentro de la jurisdicción del distrito de Juan Guerra al margen izquierdo del río Cumbaza.

Acceso: Se accede mediante una carretera a nivel de afirmado a 2.5 km. aproximadamente (tomando como referencia la carretera Fernando Belaunde Terry), con habilitación hasta las orillas del río.

Deposito: La cantera es de tipo sedimentario, de origen fluvial – aluvial con extracción de materiales no consolidados (Agregados) casi toda la época del año.

Volumen: 11500 m³.

Periodo de utilización: Prácticamente todo el año, debido al régimen intermitente de avenidas.

Método de explotación: Su explotación por ser una cantera a cielo abierto es mecánica, empleándose maquinaria pesada para su extracción y transporte (cargador y volquetes). Su extracción varía según el clima (explotación directa en estiaje y limitada a las orillas en épocas de lluvia).

2.7.3.1. Resultados de Ensayos de Laboratorio – Muestra 01.

Características físicas

		Agregado grueso	Agregado fino
Peso específico	=	2.44 g/cm ³	2.57 g/cm ³
Absorción	=	1.63 %	2.25 %
Límite líquido	=		N.P.
Límite plástico	=		N.P.
Índice de plasticidad	=		N.P.
Humedad natural	=	4.30 %	5.53 %
Humedad natural (mezcla)	=		6.49 %
Gravedad específica	=		2.63 g/cm ³
Abrasión	=	62.8 %	
Equivalente de arena	=		25.0 %
Material fino (malla #200)	=		4.90 %
Proctor modificado	=		2.07 g/cm ³
O.C.H.	=		5.30 %
C.B.R. AL 100 %	=		60.0 %
C.B.R. AL 95 %	=		38.0 %
Partículas livianas	=		N.P.
Caras fracturadas (1 cara)	=		N.P.
Caras fracturadas (2 caras)	=		N.P.
Durabilidad sulf. de sodio	=	13.03 %	6.09 %
Contenido de sales solubles	=	0.115 %	0.227 %
Cont. de sales sol. (seco)	=		0.0586 %

Clasificación

Clasificación AASHTO	=	A-1-a (0)
Clasificación SUCS	=	GP

2.7.3.2. Resultados de Ensayos de Laboratorio – Muestra 02.

Características físicas

		Agregado grueso	Agregado fino
Peso específico	=	2.44 g/cm ³	2.57 g/cm ³
Absorción	=	1.75 %	2.26 %
Limite líquido	=		N.P.
Limite plástico	=		N.P.
Índice de plasticidad	=		N.P.
Humedad natural	=	4.20 %	5.21 %
Humedad natural (mezcla)	=		6.41 %
Gravedad específica	=		2.62 g/cm ³
Abrasión	=	62.7 %	
Equivalente de arena	=		25.0 %
Material fino (malla #200)	=		5.10 %
Proctor modificado	=		2.07 g/cm ³
O.C.H.	=		5.45 %
C.B.R. AL 100 %	=		60.0 %
C.B.R. AL 95 %	=		39.0 %
Partículas livianas	=		N.P.
Caras fracturadas (1 cara)	=		N.P.
Caras fracturadas (2 caras)	=		N.P.
Durabilidad sulf. de sodio	=	12.86 %	5.19 %
Contenido de sales solubles	=	0.116 %	0.225 %
Cont. de sales sol. (seco)	=		0.000005 %

Clasificación

Clasificación AASHTO	=	A-1-a (0)
Clasificación SUCS	=	GP

2.7.3.3. Resultados de Ensayos de Laboratorio – Muestra 03.

Características físicas

		Agregado grueso	Agregado fino
Peso específico	=	2.44 g/cm ³	2.55 g/cm ³
Absorción	=	1.73 %	2.47 %
Limite líquido	=		N.P.
Limite plástico	=		N.P.
Índice de plasticidad	=		N.P.
Humedad natural	=	4.60 %	5.79 %
Humedad natural (mezcla)	=		6.45 %
Gravedad específica	=		2.62 g/cm ³
Abrasión	=	62.6 %	
Equivalente de arena	=		25.0 %
Material fino (malla #200)	=		5.40 %
Proctor modificado	=		2.07 g/cm ³
O.C.H.	=		5.35 %
C.B.R. AL 100 %	=		60.0 %
C.B.R. AL 95 %	=		39.0 %
Partículas livianas	=		N.P.
Caras fracturadas (1 cara)	=		N.P.
Caras fracturadas (2 caras)	=		N.P.
Durabilidad sulf. de sodio	=	12.68 %	6.15 %
Contenido de sales solubles	=	0.115 %	0.226 %
Cont. de sales sol. (seco)	=		0.000018 %

Clasificación

Clasificación AASHTO	=	A-1-a (0)
Clasificación SUCS	=	GP

2.8. Clasificación de las canteras en estudio para su uso en sub base.

Para clasificar las canteras en estudio, se ha establecido un cuadro en el cual se muestran los resultados de los ensayos de laboratorio, y que éstos deben cumplir con los requisitos de calidad de los agregados para su utilización en Sub Base de pavimentos flexibles; de acuerdo al Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG – 2013 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

2.8.1. Requisitos granulométricos y ensayos especiales: cantera Juan Guerra.

Tabla 10

Requisito granulométrico: cantera Juan Guerra

Tamiz	Requisito	% Pasa de la Cantera	Calificación
50 mm. (2")	100	100	✓
25 mm. (1")	75 - 95	93.67	✓
9.5 mm. (3/8")	40 - 75	64.67	✓
4.75 mm. (N° 4)	30 - 60	43	✓
2.0 mm. (N° 10)	20 - 45	35.67	✓
425 um. (N° 40)	15 - 30	18.33	✓
75 um. (N° 200)	5 - 15	8	✓

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11

Ensayos especiales: cantera Juan Guerra

Ensayos	Requerimientos	Resultados de cantera	Calificación
Abrasión de los Ángeles	50 % max.	77.97 %	X
CBR	40 % min.	55.33 %	✓
Limite Liquido	25 % max.	N. P.	✓

Índice de Plasticidad	6 % max.	N. P.	✓
Equivalente de Arena	25 % min.	25.67 %	✓
Sales Solubles	1 % max.	0.42 %	✓
Partículas Chatas y Alargadas	20 % max.	N.P.	✓

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

Los suelos ensayados están constituidos por suelos gravosos mal granulados con humedad baja, de porcentaje de absorción media, no plásticos con presencia de finos bajos, sin presencia de sustancias químicas agresivas al suelo, con una capacidad de soporte de regular a buena; de fácil fracturación y alto desgaste al impacto y abrasión, cumpliendo con la granulometría establecida en los requisitos; por lo cual se afirma que los agregados de la cantera Juan Guerra no cumplen con los requisitos para ser usados para la construcción de capas sub base del pavimento flexible.

2.8.2. Requisitos Granulométricos y Ensayos Especiales: Cantera Tres de Octubre.

Tabla 12

Requisito granulométrico: cantera Tres de Octubre

Tamiz	Requisito	% Pasa de la cantera	Calificación
50 mm. (2")	100	100	✓
25 mm. (1")	75 - 95	94.50	✓
9.5 mm. (3/8")	40 - 75	62.14	✓
4.75 mm. (N° 4)	30 - 60	41.96	✓
2.0 mm. (N° 10)	20 - 45	35.63	✓
425 um. (N° 40)	15 - 30	30.50	X
75 um. (N° 200)	5 - 15	12.81	✓

Fuente: Elaboración Propia

Tabla13*Ensayos especiales: cantera Tres de Octubre*

Ensayos	Requerimientos	Resultados de cantera	Calificación
Abrasión de los Ángeles	50 % max.	67.30 %	X
CBR	40 % min.	57.67 %	✓
Limite Liquido	25 % max.	N. P.	✓
Índice de Plasticidad	6 % max.	N. P.	✓
Equivalente de Arena	25 % min.	27.33 %	✓
Sales Solubles	1 % max.	0.38 %	✓
Partículas Chatas y Alargadas	20 % max.	N.P.	✓

Fuente: Elaboración Propia**Interpretación:**

Los suelos ensayados están constituidos por suelos gravosos mal granulados con humedad baja, de porcentaje de absorción media, no plásticos con presencia de finos bajos, sin presencia de sustancias químicas agresivas al suelo, con una capacidad de soporte de regular a buena; de fácil fracturación y alto desgaste al impacto y abrasión, no cumpliendo con la granulometría establecida en los requisitos; por lo cual se afirma que los agregados de la cantera Tres de Octubre no cumplen con los requisitos para ser usados para la construcción de capas sub base del pavimento flexible.

2.8.3. Requisitos granulométricos y ensayos especiales: cantera Santa Rosa de Cumbaza.

Tabla14

Requisito granulométrico: cantera Santa Rosa de Cumbaza

Tamiz	Requisito	% Pasa de la cantera	Calificación
50 mm. (2")	100	100	✓
25 mm. (1")	75 - 95	93.73	✓
9.5 mm. (3/8")	40 - 75	63.98	✓
4.75 mm. (N° 4)	30 - 60	39.48	✓
2.0 mm. (N° 10)	20 - 45	32.48	✓
425 um. (N° 40)	15 - 30	26.08	✓
75 um. (N° 200)	5 - 15	6.74	✓

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15

Ensayos especiales: cantera Tres de Octubre

Ensayos	Requerimientos	Resultados de cantera	Calificación
Abrasión de los Ángeles	50 % max.	62.70 %	X
CBR	40 % min.	60 %	✓
Limite Liquido	25 % max.	N. P.	✓
Índice de Plasticidad	6 % max.	N. P.	✓
Equivalente de Arena	25 % min.	25 %	✓
Sales Solubles	1 % max.	0.34 %	✓
Partículas Chatas y Alargadas	20 % max.	N.P.	✓

Fuente: Elaboración Propia

Interpretación:

Los suelos ensayados están constituidos por suelos gravosos mal granulados con humedad baja, de porcentaje de absorción media, no plásticos con presencia de finos bajos, sin presencia de sustancias químicas agresivas al suelo, con una capacidad de soporte de regular a buena; de fácil fracturación y alto desgaste al impacto y abrasión, cumpliendo con la granulometría establecida en los requisitos; por lo cual se afirma que los agregados de la cantera Santa Rosa de Cumbaza no cumplen con los requisitos para ser usados para la construcción de capas sub base del pavimento flexible.

A continuación, se muestra un cuadro elaborado por fuente propia (tesista) en donde se aprecia los resultados de las tres canteras en estudio y su debida clasificación.

Tabla 16

Resumen de Resultados

Cuadro resumen: Propiedades físico mecánicas y clasificación de muestra sub base													
Resultados de la mezcla para uso en sub base													
Capa Sub base - Canteras	Granulometría					Abrasion		CBR		Propiedades		Sales	Partículas
	Malla (2")	Malla (1")	Malla (3/8")	Malla #4	Malla #10	Malla #40	Malla #200	%	%	L.L.	I.P.	solubles	chatas y alargadas
Requisitos:Sub Base	100	75-95	40-75	30-60	20-45	15-30	5-15	50% max.	40% min.	25% max.	6% max.	1% max.	20% max.
Cantera Juan Guerra	100.00	93.67	64.67	43.00	35.67	18.33	8.00	77.97	55.33	N.P.	N.P.	0.42	N.P.
Cantera Tres de Octubre	100.00	94.50	62.14	41.96	35.63	30.50	12.81	67.30	57.67	N.P.	N.P.	0.38	N.P.
Cantera Santa Rosa de Cumbaza	100.00	93.73	63.98	39.48	32.48	26.08	6.74	62.70	60.00	N.P.	N.P.	0.34	N.P.

Fuente: Elaboración Propia

2.9. Determinación de Modulo Resiliente.**2.9.1. Módulo Resiliente: Cantera Juan Guerra.**

$$M_R(psi) = 1500 \times CBR; \quad CBR = 55\%$$

$$M_R(psi) = 82,995.00 \text{ lb/plg}^2.$$

2.9.2. Módulo Resiliente: Cantera Tres de Octubre.

$$M_R(psi) = 1500 \times CBR; \quad CBR = 57.67\%$$

$$M_R(psi) = 86,605.00 \text{ lb/plg}^2.$$

2.9.3. Módulo Resiliente: Cantera Tres de Octubre.

$$M_R(psi) = 1500 \times CBR; \quad CBR = 60.00\%$$

$$M_R(psi) = 90,000.00 \text{ lb/plg}^2.$$

CAPITULO V

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según los resultados obtenidos en el desarrollo de la tesis se observa que:

5.1. Análisis Granulométrico.

Según los resultados obtenidos en el Análisis Granulométrico de los agregados se tiene que las canteras de Juan Guerra y Santa Rosa de Cumbaza cumplen con todos los requisitos granulométricos según el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG 2013; en cambio la cantera Tres de Octubre no cumple con el requisito de análisis granulométrico ya que en el tamiz N° 40 el porcentaje que pasa es de 30.50%, y en el requisito establece que el porcentaje que debe pasar debe variar de 15% hasta 30%.

5.2. Abrasión de los Ángeles.

Según los resultados obtenidos del ensayo de Abrasión de los Ángeles de los agregados se tiene que las canteras de Juan Guerra, Tres de Octubre y Santa Rosa de Cumbaza no cumplen con este requisito según el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG 2013; ya que el porcentaje de desgaste de estos es de 77.97%, 67.30% y 62.70% respectivamente, y el requisito de desgaste que establece el manual es del 50% como máximo.

5.3. Valor Relativo Soporte (CBR).

Según los resultados obtenidos del ensayo de Valor Relativo Soporte (CBR) de los ángeles de los agregados se tiene que las canteras de Juan Guerra, Tres de Octubre y Santa Rosa de Cumbaza si cumplen con este requisito según el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG 2013; ya que el porcentaje de CBR de estos es de 55.33%, 57.67% y 60.00% respectivamente, y el requisito de CBR que establece el manual es del 40% como mínimo, esto referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0.1” (2.5 mm).

5.4. Limite Líquido.

Según los resultados obtenidos del ensayo de Limite Liquido de los agregados se tiene que las canteras de Juan Guerra, Tres de Octubre y Santa Rosa de Cumbaza si cumplen con este requisito según el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para

Construcción – EG 2013; ya que estos no presentan un Limite Liquido, y el requisito de Limite Liquido que establece el manual es del 25% como máximo.

5.5. Índice de Plasticidad.

Según los resultados obtenidos del ensayo de Índice de Plasticidad de los agregados se tiene que las canteras de Juan Guerra, Tres de Octubre y Santa Rosa de Cumbaza si cumplen con este requisito según el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG 2013; ya que estos no presentan nada de Índice de Plasticidad, y el requisito de Índice de Plasticidad que establece el manual es del 6% como máximo.

5.6. Equivalente de Arena.

Según los resultados obtenidos del ensayo de Equivalente de Arena de los agregados se tiene que las canteras de Juan Guerra, Tres de Octubre y Santa Rosa de Cumbaza si cumplen con este requisito según el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG 2013; ya que el porcentaje de Equivalente de Arena de estos es de 25.67%, 27.33% y 25.00% respectivamente, y el requisito de desgaste que establece el manual es del 25% como mínimo.

5.7. Sales Solubles.

Según los resultados obtenidos del ensayo de Sales Solubles de los agregados se tiene que las canteras de Juan Guerra, Tres de Octubre y Santa Rosa de Cumbaza si cumplen con este requisito según el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG 2013; ya que el porcentaje de Sales Solubles de estos es de 0.42%, 0.38% y 0.34% respectivamente, y el requisito de Sales Solubles que establece el manual es del 1% como máximo.

5.8. Partículas Chatas y Alargadas.

Según los resultados obtenidos del ensayo de Partículas Chatas y Alargadas de los agregados se tiene que las canteras de Juan Guerra, Tres de Octubre y Santa Rosa de Cumbaza si cumplen con este requisito según el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG 2013; ya que estos no presentan porcentaje de caras fracturadas, y el requisito de Partículas Chatas y Alargadas que establece el manual es del 20% como máximo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones.

De acuerdo a los resultados obtenidos y verificados según los requerimientos para sub base se concluye:

Los agregados de las canteras Juan Guerra, Tres de Octubre y Santa Rosa de Cumbaza no son aptos para ser usados como sub base del pavimento flexible.

Los suelos de las canteras en estudio son agregados marginales, ya que cumplen con algunos requisitos de los mencionados para el uso como sub base.

Independientemente de los resultados el resultado que ha predominado para la conclusión es el alto desgaste a la abrasión lo que contribuye en un porcentaje definir usarlo al momento del proceso constructivo.

6.2 Recomendaciones.

De acuerdo a los resultados obtenidos y verificados según los requerimientos para sub base se recomienda:

No utilizar estas canteras para ser usado en sub base del pavimento flexible.

Su utilización en mezcla o estabilización de suelos para ser utilizados como sub base.

Investigar las mezclas con material provenientes de otras canteras para poder ser utilizados como sub base.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Chang, L. (2017) *C.B.R (California Bearing Ratio)*, de Scribd Sitio web:
<https://es.scribd.com/doc/39665584/Definicion-CBR>.

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (2013) *Estudio de Canteras de Suelo*. En Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos (pp.53-55). Perú: MTC.

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (2013) *Informe, Diagrama de Cantera, Fuentes de Agua e Instalaciones de Suministro*. En Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos (pp.67-68). Perú: MTC.

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (2013) *Materiales para Pavimentos de la Sub Base Granular*. En Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos (pp.131-132). Perú: MTC.

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (2013) *Sección 402 Sub Bases Granulares*. En Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG 2013 (pp.367-369). Perú: MTC.

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (2016) *Bases Granulares, Aceptación de los Trabajos*. En Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción – EG 2013. (p.381). Perú: MTC.

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (2016) *MTC E 101 Muestreo de Suelos y Rocas*. En Manual de Ensayo de Materiales (pp.14-16). Perú: MTC.

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles (2016) *Manual de Ensayo de Materiales*. Perú: MTC.

Duravía (2012) *Estructura del Pavimento*. Marzo 27, 2017, de Duravía Sitio web:
<http://www.duravia.com.pe/hello-world/>.

- Encuesta de Opinión (2008) *Que es un Diseño Polietápico*. Julio 31, 2017, de Encuesta de Opinión Sitio web: <http://encuestasdeopinion.blogspot.pe/2008/09/qu-es-un-diseo-muestral-polietpico.html>.
- Grandez, G. (2010). *Diseño Geométrico y Pavimento de la Carretera Tabalosos - Pinto Recodo*. Morales: Tesis UNSM.
- Hedilberto (2013). *Clasificación Granulométrica*. Febrero 10, 2017, de Wikipedia Sitio web: https://es.wikipedia.org/wiki/Clasificaci%C3%B3n_granulom%C3%A9trica.
- Hernández, J., & Cárdenas, E. (1998). *Explotación subterránea de canteras, una alternativa económica y ambiental en zonas urbanas*. Colombia: Tesis Universidad Nacional de Colombia.
- Herrera, M. (2014). *Metodologías de Diseño de Pavimentos*. En Determinación del Módulo Resiliente de Diseño de Pavimentos mediante Criterios ASSHTO 1993 y 2002 (pp.16-17). Lima: Maestría Universidad de Piura.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (2000). *Evaluación física de agregados gruesos para pisos y pavimentos de concreto*. Construcción y Tecnología, 25, pp. 23-33.
- Llerena, G. (2011). *Explotación de Canteras*. Abril 12, 2017, de Scribd Sitio web: <https://es.scribd.com/document/67834045/1-00-Explotacion-de-Canteras-Teoria-1>.
- Mar del Sol (2012). *El Muestreo de los Agregados*. Abril 12, 2017, de Ingemania-Peru.blogspot Sitio web: <http://ingemania-peru.blogspot.pe/2012/10/el-muestreo-de-los-agregados.html>.
- Marcos (2005). *Abrasión*. Febrero 10, 2017, de wikipedia Sitio web: <https://es.wikipedia.org/wiki/Abrasi%C3%B3n>.
- Martin, J. (2001). *Nociones de Hidráulica Fluvial*. En Ingeniería de Ríos (pp.55 -63). Barcelona: Alfaomega.

- Minaya, S., & Ordoñez, A. (2001). *Ensayo de Agregados para Pavimentos*. En Manual de laboratorio ensayo para pavimentos volumen I (p.6). Lima: UNI.
- Montenegro, J. (2011). *Influencia de los Agregados en el Concreto*. Abril 12, 2017, de Civilgeeks Sitio web: <http://civilgeeks.com/2011/10/04/influencia-de-la-forma-de-los-agregados-en-el-concreto/>.
- Mosquera, E. (2011). *Evaluación de las Canteras de la provincia de San Martín para su utilización en Obras Civiles*. Morales: Tesis UNSM.
- MPSM (2016). *Mejoramiento de las principales vías de acceso al hospital Essalud Tarapoto, distritos de Tarapoto y Morales, provincia de San Martín – San Martín*. Tarapoto: Abrasión – Norma MTC E 207.
- MPSM (2016). *Mejoramiento de las principales vías de acceso al hospital Essalud Tarapoto, distritos de Tarapoto y Morales, provincia de San Martín – San Martín*. Tarapoto: Contenido de Sales Solubles en Agregados – Norma MTC E 219.
- MPSM (2016). *Mejoramiento de las principales vías de acceso al hospital Essalud Tarapoto, distritos de Tarapoto y Morales, provincia de San Martín – San Martín*. Tarapoto: Ensayo de CBR – Norma MTCE 132, Norma ASTM D 1883, Norma AASHTO T – 193.
- MPSM (2016). *Mejoramiento de las principales vías de acceso al hospital Essalud Tarapoto, distritos de Tarapoto y Morales, provincia de San Martín – San Martín*. Tarapoto: Equivalente de Arena – Norma MTC E 114.
- Panduro, K. (1995). *Estudio de Canteras y su Uso en la Construcción Civil en la Región San Martín*. Morales: Tesis UNSM.
- Quiñonez, N. (2017) *Ensayo de Agregados*, de El Rincón del Vago Sitio web: <http://html.rincondelvago.com/agregados.html>.

- Rojas, Z. (2013). *Estudio de Cantera*. Febrero 10, 2017, de slideshare Sitio web: <https://es.slideshare.net/zulemarojascartolin/cantera-27927127>.
- Shuan, L. (2006). *Taller Básico de Mecánica de Suelos*. Perú: UNI.
- Terzaghi, K., & Peck, R. (1978). *Métodos de Exploración del Suelo*. En *Mecánica de Suelos en la Ingeniería Practica Segunda Edición* (pp.291-292). Barcelona - España: EL ATENEO S.A.
- Torre, A. (2004). *Agregados para el Concreto*. En *Curso Básico de Tecnología del Concreto para Ingenieros Civiles* (pp.43-58). Perú: UNI.
- Trinidad, S. (2014). *Agregados para la Construcción (Piedra y Arena)*. Febrero 10, 2017, de slideshare Sitio web: <http://es.slideshare.net/ludwigtrinidad/agregados-para-la-construccin>.
- Villegas, J., & Salas, J. (2012). *Diseño Geométrico y Pavimento de la Carretera Ledoy - Bellavista*. Morales: Tesis UNSM.

ANEXOS

ANEXO 1: PANEL FOTOGRAFICO



Foto N° 01: Extracción de Material de Cantera Juan Guerra.



Foto N° 02: Realización del método del cuarteo en la Cantera Juan Guerra.



Foto N° 03: Extracción de Material de Cantera Tres de Octubre.



Foto N° 04: Realización del método del cuarteo en la Cantera Tres de Octubre.



Foto N° 05: Extracción de Material de Cantera Santa Rosa de Cumbaza.



Foto N° 06: Realización del método del cuarteo en la Cantera Santa Rosa de Cumbaza.



Foto N° 07: Preparación de muestras.



Foto N° 08: Análisis Granulométrico de los Agregados.



Foto N° 09: Colocación de las muestras al horno.



Foto N° 10: Material que pasaron los tamices.



Foto N° 11: Abrasión de los Ángeles.



Foto N° 12: Sacando el material triturado de la máquina de Abrasión de los Ángeles.



Foto N° 13: Material triturado.



Foto N° 14: Separación de material.



Foto N° 15: Pesando el material.



Foto N° 16: Preparación de insumos para ensayo de Equivalente de Arena.

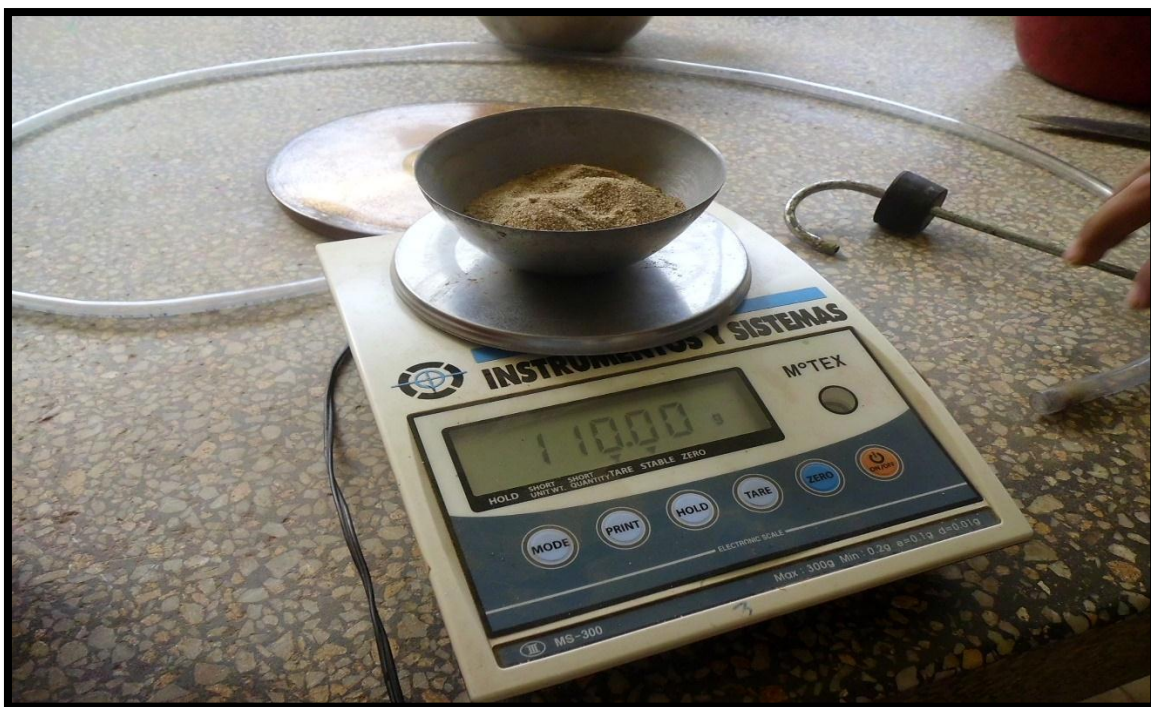


Foto N° 17: Peso de arena.



Foto N° 18: Agua destilada.



Foto N° 19: Realizando ensayo de Equivalente de Arena.



Foto N° 20: Material para ensayo de CBR.



Foto N° 21: Realizando los golpes.



Foto N° 22: Muestras compactadas.



Foto N° 23: Saturación de las muestras.



Foto N° 24: Extrayendo las muestras saturadas.



Foto N° 25: Calibración equipo para penetración de pistón.

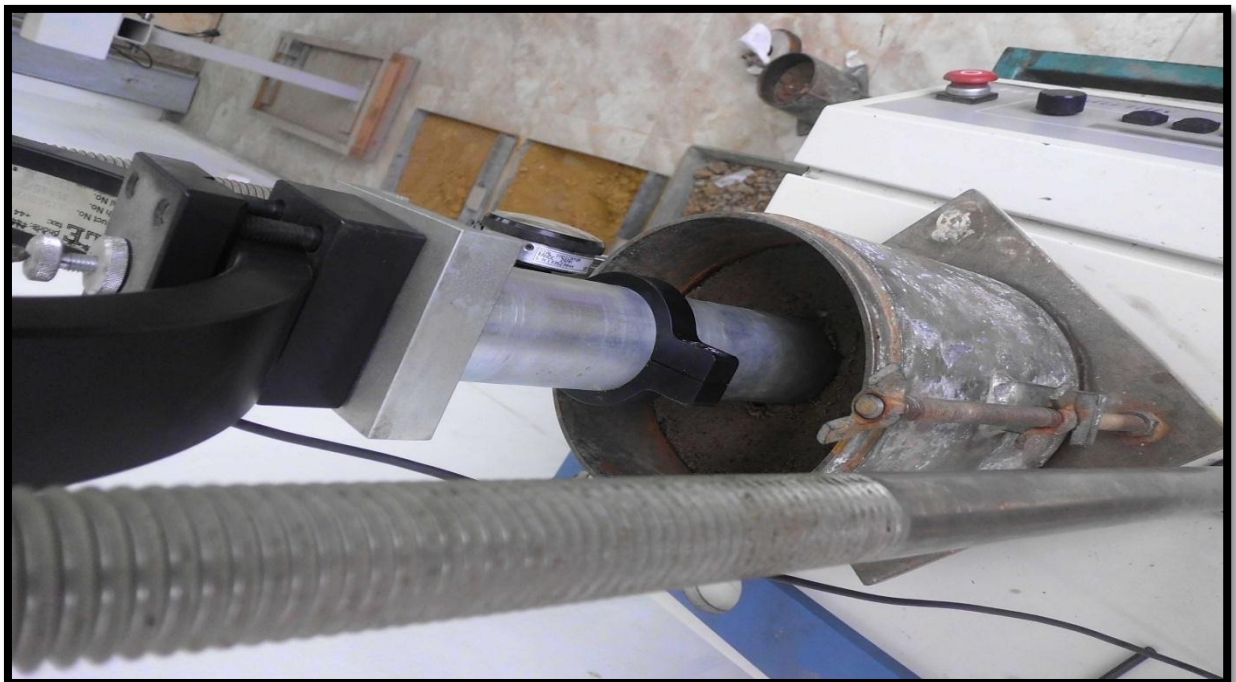


Foto N° 26: Penetración de pistón.

ANEXO 2: ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO 2.1: ENSAYOS CANTERA JUAN GUERRA

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA SUB BASE

ANEXO 2.1.1: MUESTRA 01

ANEXO 2.1.2: MUESTRA 02

ANEXO 2.1.3: MUESTRA 03

ANEXO 2.2: ENSAYOS CANTERA TRES DE OCTUBRE

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA SUB BASE

ANEXO 2.2.1: MUESTRA 01

ANEXO 2.2.2: MUESTRA 02

ANEXO 2.2.3: MUESTRA 03

ANEXO 2.3: ENSAYOS CANTERA SANTA ROSA DE CUMBAZA

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA SUB BASE

ANEXO 2.3.1: MUESTRA 01

ANEXO 2.3.2: MUESTRA 02

ANEXO 2.3.3: MUESTRA 03

ANEXO 3: PLANOS

ANEXO 3.1: PLANO UBICACIÓN CANTERA JUAN GUERRA

ANEXO 3.2: PLANO UBICACIÓN CANTERA TRES DE OCTUBRE

ANEXO 3.3: PLANO UBICACIÓN CANTERA SANTA ROSA DE CUMBAZA